

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**А. А. Сакович**

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ  
ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением высших учебных заведений  
Республики Беларусь по химико-технологическому образованию  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 1-48 01 01 «Химическая технология  
неорганических веществ, материалов и изделий»*

Минск 2008

УДК 666.934(075.8)  
ББК 35.41я7  
С15

Рецензенты:

кафедра «Технология бетона и строительные материалы»  
Белорусского национального технического университета  
(заведующий кафедрой профессор, доктор технических наук  
*Э. И. Ботяновский*);

заведующий лабораторией вяжущих материалов  
УП «Научно-исследовательский институт строительных материалов»  
кандидат технических наук *В. Л. Бильдюкевич*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Сакович, А. А.**

С15 Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / А. А. Сакович. – Минск : БГТУ, 2008. – 110 с.

ISBN 978-985-434-816-2

Пособие содержит методические указания и тексты задач с примерами их решения по основным разделам, соответствующим профилю будущих специалистов.

Предназначено для проведения практических занятий и подготовки студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» дневной и заочной форм обучения к экзамену по дисциплине «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов».

УДК 666.934(075.8)  
ББК 35.41я7

ISBN 978-985-434-816-2

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2008  
© Сакович А. А., 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие предназначено для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», обучающихся по специализациям 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов», 1-48 01 01 07 «Технология строительных материалов на основе вяжущих веществ», 1-48 01 01 08 «Технология неорганических полимерных связующих и композиционных материалов», 1-48 01 01 09 «Технология тонкой функциональной и строительной керамики», 1-48 01 01 11 «Химическая технология огнеупорных материалов», 1-48 01 01 14 «Химическая технология вяжущих материалов», для использования на практических занятиях и выполнения контрольных работ по курсу «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов». Практика преподавания данного курса показывает, что эффективным путем повышения знаний и практических навыков студентов является решение задач.

Основная цель пособия – привитие студентам навыков инженерных расчетов технологических процессов, лежащих в основе производства важнейших видов силикатных материалов строительного и технического назначения.

Химико-технологические расчеты составляют главную, наиболее трудоемкую часть проекта любого химического производства, они же являются завершающей стадией лабораторного технологического исследования. Большое внимание уделено расчетам сырьевых смесей для получения силикатных материалов, а также методике составления материальных балансов, поскольку именно на них базируются все остальные технологические расчеты. Составление материального баланса необходимо как при проектировании нового, так и при анализе работы действующего производства. При проектировании новых производств используют опыт существующих с учетом результатов современных исследований. На основе сравнительного технико-экономического анализа действующих производств можно выбрать наиболее рациональную технологическую схему, оптимальные конструкции аппаратов и условия осуществления процесса.

В пособие включены задачи по производству стекла, керамики, вяжущих веществ, а также изделий на их основе.

# 1. РАСЧЕТЫ СОСТАВА И СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. Приведение химического состава к стопроцентному

Состав сырьевых материалов, которые используются для производства тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, полученный в процентах путем химического анализа, в большинстве случаев в сумме не дает точно 100%. Расчеты с химическим составом материала, не приведенным к 100%, более затруднительны и кропотливы, чем с тем же составом, приведенным к 100%, поэтому рассмотрим способ пересчета химического состава материала на 100%. Для расчета используют формулу

$$P = \frac{P_a \cdot 100}{\sum P_a}, \quad (1.1)$$

где  $P$  – содержание компонента в приведенном составе, мас. %;  $P_a$  – содержание компонента по химическому анализу, мас. %;  $\sum P_a$  – сумма содержания компонентов материала по данным химического анализа, мас. %.

Аналогичный расчет можно также проводить с помощью переводных коэффициентов ( $R$ ). В этом случае процентное содержание отдельной составной части материала по данным анализа умножают на переводной коэффициент, полученный как частное от деления 100 на общую сумму в процентах по химическому анализу:

$$R = \frac{100}{\sum P_a}. \quad (1.2)$$

Порядок расчетов поясним на примере.

Пример. Известен химический состав шихты легкоплавкой глазури по данным анализа, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 42,61;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,40;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 9,87;  $\text{CaO}$  – 0,24;  $\text{MgO}$  – 0,30;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13,08;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,54;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 11,95; потери при прокаливании (ППП) – 18,55; сумма – 99,54. Требуется привести этот состав к стопроцентному.

$$P(\text{SiO}_2) = \frac{42,61 \cdot 100}{99,54} = 42,8;$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{2,40 \cdot 100}{99,54} = 2,41;$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{9,87 \cdot 100}{99,54} = 9,91;$$

$$P(\text{CaO}) = \frac{0,24 \cdot 100}{99,54} = 0,24;$$

$$P(\text{MgO}) = \frac{0,30 \cdot 100}{99,54} = 0,30;$$

$$P(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{13,08 \cdot 100}{99,54} = 13,14;$$

$$P(\text{K}_2\text{O}) = \frac{0,54 \cdot 100}{99,54} = 0,54;$$

$$P(\text{B}_2\text{O}_3) = \frac{11,95 \cdot 100}{99,54} = 12,01;$$

$$P(\text{ППП}) = \frac{18,55 \cdot 100}{99,54} = 18,60;$$

---

$$\sum P_i = 100,00.$$

Пример. Дан химический состав глинозема, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 10,63;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 81,65;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,17; ППП – 7,80; сумма – 100,25. Требуется привести этот состав к стопроцентному.

Расчет проведем с помощью переводного коэффициента с использованием формулы (1.2):

$$R = \frac{100}{100,25} = 0,9975;$$

$$P(\text{SiO}_2) = 10,63 \cdot 0,9975 = 10,60;$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = 81,65 \cdot 0,9975 = 81,45;$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,17 \cdot 0,9975 = 0,17;$$

$$P(\text{ППП}) = 7,80 \cdot 0,9975 = 7,78;$$

---

$$\sum P_i = 100,00.$$

## 1.2. Пересчет химического состава материала на прокаленное вещество

При расчетах, выполняемых в технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, во многих случаях удобнее использовать химический состав материала на прокаленное вещество (в технологии стекла и ситаллов используется выражение «безугарный состав сырьевых материалов»). При пересчете состава на прокаленное вещество из состава исключают выгорающие во время термической обработки  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др., которые образуются в результате разложения некоторых компонентов, например  $\text{CO}_2$ , образующегося при разложении  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{MgCO}_3$ .

При пересчете химического состава материала на прокаленное вещество могут встретиться два случая:

- 1) заданный для пересчета химический состав приведен к 100%;
- 2) заданный для пересчета химический состав не приведен к 100%, а представлен непосредственно результатами химического анализа.

В первом случае для пересчета следует использовать формулу

$$x = \frac{P100}{100 - y}, \quad (1.3)$$

где  $x$  – содержание данного компонента в сырьевом материале в пересчете на прокаленное вещество, мас. %;  $P$  – содержание данного компонента до прокаливания, мас. %;  $y$  – потери при прокаливании (содержание выгорающих компонентов – угара) в сырьевом материале, мас. %.

Во втором случае следует применять формулу

$$x = \frac{P_a 100}{\sum P_a - y}, \quad (1.4)$$

где  $x$  – содержание данного компонента в сырьевом материале в пересчете на прокаленное вещество, мас. %;  $P_a$  – содержание данного компонента в составе сырьевого материала, не приведенном к 100%;  $\sum P_a$  – сумма содержания компонентов в сырьевом материале, мас. %;  $y$  – потери при прокаливании в сырьевом материале, мас. %.

Пример. Пересчитать приведенный в табл. 1.1 химический состав материала в проценты на прокаленное вещество.

Таблица 1.1

**Химический состав сырья**

Исходный компонент	Содержание оксида, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ППП	Сумма
Мел	0,91	0,45	0,1	54,95	0,24	42,74	99,39
Глина	70,02	17,75	2,84	1,55	0,52	7,32	100,00

Пересчет состава мела на прокаленное вещество проводим по формуле (1.4):

$$x(\text{SiO}_2) = \frac{0,91 \cdot 100}{99,39 - 42,74} = 1,61;$$

$$x(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{0,45 \cdot 100}{99,39 - 42,74} = 0,79;$$

$$x(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{0,1 \cdot 100}{99,39 - 42,74} = 0,18;$$

$$x(\text{CaO}) = \frac{54,95 \cdot 100}{99,39 - 42,74} = 97,0;$$

$$x(\text{MgO}) = \frac{0,24 \cdot 100}{99,39 - 42,74} = 0,42;$$

---


$$\sum x_i = 100,00.$$

Пересчет состава глины на прокаленное вещество проводим по формуле (1.3):

$$x(\text{SiO}_2) = \frac{70,02 \cdot 100}{100 - 7,32} = 75,56;$$

$$x(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{17,75 \cdot 100}{100 - 7,32} = 19,15;$$

$$x(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{2,84 \cdot 100}{100 - 7,32} = 3,06;$$

$$x(\text{CaO}) = \frac{1,55 \cdot 100}{100 - 7,32} = 1,67;$$

$$x(\text{MgO}) = \frac{0,52 \cdot 100}{100 - 7,32} = 0,56;$$

---

$$\sum x_i = 100,00.$$

Пример. Известен химический состав шлака по данным анализа, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 45,66;  $\text{R}_2\text{O}$  – 26,40;  $\text{SO}_3$  – 1,38;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,58;  $\text{CaO}$  – 19,32;  $\text{MgO}$  – 3,87;  $\sum P_a = 99,21$ .

Пользуясь формулой (1.4), пересчитаем химический состав шлака на прокаленное вещество, мас. %:

$$x(\text{SiO}_2) = \frac{45,66 \cdot 100}{99,21 - 1,38} = 46,67;$$

$$x(\text{R}_2\text{O}) = \frac{26,40 \cdot 100}{99,21 - 1,38} = 29,03;$$

$$x(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{0,58 \cdot 100}{99,21 - 1,38} = 0,59;$$

$$x(\text{CaO}) = \frac{19,32 \cdot 100}{99,21 - 1,38} = 19,75;$$

$$x(\text{MgO}) = \frac{3,87 \cdot 100}{99,21 - 1,38} = 3,96;$$

---

$$\sum x_i = 100,00.$$

### **1.3. Пересчет химического состава влажного материала на сухое вещество**

При расчете количества влажных материалов используют такие характеристики, как абсолютная и относительная влажность. Абсолютную влажность  $w_a$  в процентах, или влажность, отнесенную к высушенной до постоянной массы навеске вещества, находят по формуле



$$w_a = \frac{g_0 - g_1}{g_1} 100, \quad (1.5)$$

где  $g_0$  – масса влажного вещества, г;  $g_1$  – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Относительную влажность  $w$  в процентах, или влажность, отнесенную к массе влажного материала, определяют по формуле

$$w = \frac{g_0 - g_1}{g_1} 100. \quad (1.6)$$

Соотношения между абсолютной и относительной влажностью выражаются следующими формулами:

$$w = \frac{w_a 100}{100 + w_a}; \quad (1.7)$$

$$w_a = \frac{w 100}{100 - w}. \quad (1.8)$$

В дальнейшем изложении относительную влажность материала ( $w$ ) будем называть просто его влажностью.

В технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов все технологические расчеты удобнее и проще производить с материалами, состав которых заранее пересчитан на сухое вещество, т. е. на продукт, не содержащий механически связанной воды. Пересчет ведут по следующей формуле:

$$x = \frac{g(100 - w)}{100}, \quad (1.9)$$

где  $x$  – искомая масса сухого материала, г;  $g$  – исходная масса материала (влажного), г.

Когда необходимо пересчитать на сухое вещество процентный состав материала, содержавшего несколько компонентов, возможны два случая:

1) пересчитываемый состав материала предварительно приведен к 100%;

2) заданный для пересчета состав не приведен к 100%, т. е. представлен данными, непосредственно полученными при химическом анализе.

В первом случае состав пересчитывают по формуле

$$P = \frac{P_w 100}{100 - w}, \quad (1.10)$$

где  $P$  – искомая величина содержания отдельных компонентов сухого материала, мас. %;  $P_w$  – содержание компонентов влажного материала, мас. %;  $w$  – влажность (содержание влаги), мас. %.

Во втором случае используют формулу

$$P = \frac{P_w 100^2}{(100 - w) \sum P_w}, \quad (1.11)$$

где  $\sum P_w$  – сумма содержания компонентов по анализу, мас. %.

Порядок расчета поясним на примере.

Пример. Дан состав известняка на влажное вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 0,63;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,08;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,46;  $\text{CaO}$  – 51,01;  $\text{MgO}$  – 0,45;  $\text{SO}_3$  – 0,10; ППП – 35,85;  $\text{H}_2\text{O}$  – 6,25; сумма – 100,38. Требуется пересчитать состав известняка на сухое вещество. По формуле (1.11) получим, мас. %:

$$P(\text{SiO}_2) = \frac{100^2 \cdot 0,63}{(100 - 6,25)100,38} = 0,67;$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{100^2 \cdot 1,08}{(100 - 6,25)100,38} = 1,15;$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{100^2 \cdot 0,46}{(100 - 6,25)100,38} = 0,49;$$

$$P(\text{CaO}) = \frac{100^2 \cdot 51,01}{(100 - 6,25)100,38} = 54,21;$$

$$P(\text{MgO}) = \frac{100^2 \cdot 0,45}{(100 - 6,25)100,38} = 0,47;$$

$$P(\text{SO}_3) = \frac{100^2 \cdot 0,10}{(100 - 6,25)100,38} = 0,10;$$

$$P(\text{ППП}) = \frac{100^2 \cdot 35,85}{(100 - 6,25)100,38} = 42,9;$$

---


$$\sum P_i = 100,00.$$

#### 1.4. Пересчет химического состава на влажное вещество

При выполнении технологических расчетов приходится пересчитывать состав сухого материала на влажный, учитывая в каждом случае конкретную величину влажности. При этом могут встречаться два случая:

- 1) пересчитываемый состав предварительно приведен к 100%;
- 2) заданный для пересчета состав сухого материала не приведен к 100%, т. е. представлен данными, полученными при химическом анализе.

В первом случае состав пересчитывают по формуле

$$P_w = \frac{P100}{100 + w}, \quad (1.12)$$

во втором – по формуле

$$P_w = \frac{P_a 100^2}{\sum P_a (100 + w)}, \quad (1.13)$$

где  $P_w$  – искомая величина содержания отдельной составной части влажного материала, мас. %;  $P$  – содержание отдельной составной части сухого материала, мас. %;  $w$  – содержание влаги в материале (влажность), мас. %;  $\sum P_a$  – сумма содержаний составных частей в сухом материале, мас. %.

Пример. Дан состав глины по анализу на сухое вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 60,38;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 21,96;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,47;  $\text{CaO}$  – 1,31;  $\text{MgO}$  – 0,49;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,22;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,96; ППП – 9,90;  $\sum P_a = 99,69$ . Влажность – 1,5%. Требуется пересчитать состав глины на влажное вещество. По формуле (1.13) получим, мас. %:

$$P_w(\text{SiO}_2) = \frac{100^2 \cdot 60,38}{99,69(100 + 1,5)} = 59,67;$$

$$P_w(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{100^2 \cdot 21,96}{99,69(100 + 1,5)} = 21,70;$$

$$P_w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{100^2 \cdot 3,47}{99,69(100 + 1,5)} = 3,43;$$

$$P_w(\text{CaO}) = \frac{100^2 \cdot 1,31}{99,69(100 + 1,5)} = 1,29;$$

$$P_w(\text{MgO}) = \frac{100^2 \cdot 0,49}{99,69(100 + 1,5)} = 0,48;$$

$$P_w(\text{K}_2\text{O}) = \frac{100^2 \cdot 0,22}{99,69(100 + 1,5)} = 0,22;$$

$$P_w(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{100^2 \cdot 1,96}{99,69(100 + 1,5)} = 1,93;$$

$$P_w(\text{ППП}) = \frac{100^2 \cdot 9,90}{99,69(100 + 1,5)} = 9,78;$$

$$P(\text{H}_2\text{O}) = 1,50;$$

---

$$\sum P_i = 100,00.$$

### 1.5. Пересчет материала с одной влажности на другую

В технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов часто приходится определять количество материала при изменении его влажности, что является следствием различных способов приготовления технологических сырьевых смесей. Так, существуют два основных способа приготовления цементной сырьевой смеси: мокрый и сухой. Мокрый способ предполагает помол и смешение сырьевых компонентов с карьерной влажностью в присутствии добавочной воды, при этом получается суспензия с влажностью 38–45%, называемая сырьевым шламом. При сухом способе помол и смешение происходят в сухом виде за счет совместного тонкого измельчения и сушки исходных сырьевых компонентов, в результате получается порошкообразная смесь компонентов, называемая сырьевой мукой.

В технологии традиционной керамики имеются три основных способа приготовления керамических масс: полусухой, пластинчатый, шликерный, отличающиеся по соотношению твердой фазы и временной жидкой связи.

Полусухой способ переработки сырья и подготовки массы применяют при производстве кирпича, пустотелых камней, некоторых видов огнеупоров при использовании сырья пониженной естественной влажности.

Пластинчатый способ подготовки глинистых масс получил наибольшее распространение в керамической промышленности. Это связано с простотой и высоким качеством подготавливаемой глиняной массы и дает возможность использовать материалы карьерной влажности без предварительной их сушки.

Производство изделий со шликерным способом подготовки массы целесообразно применять при глинистом сырье повышенной влажности, которое легко размокает в воде и содержит каменистые включения, подлежащие удалению, а также при использовании многокомпонентных масс. Полученный шликер может быть использован непосредственно для формования изделий способом литья, но чаще его подвергают сушке в башенных распылительных сушилках, позволяющих перерабатывать шликер, содержащий 50–75% сухого вещества, или фильтруют.

В связи со сказанным выше нередко приходится определять количество материала после изменения его влажности. Этот пересчет ведут по следующей формуле:

$$x = \frac{g(100 - w)}{100 - w_1}, \quad (1.14)$$

где  $x$  – искомая масса материала с новой влажностью, кг;  $g$  – масса материала с исходной влажностью, кг;  $w_1$  – влажность материала после его переработки (изменена влажность), мас. %.

Порядок расчетов поясним на примере.

Пример. Необходимо определить массу материала после его увлажнения до 18%, если материала с влажностью 8% имеет массу 100 кг.

Подставив значения  $g$ ,  $w$ ,  $w_1$  в формулу (1.14), получим

$$x = \frac{100(100 - 8)}{100 - 18} = 112,2 \text{ кг.}$$

Количество воды, необходимой для доувлажнения материала с влажностью 8% до влажности 18%, составит

$$112,2 - 100 = 12,2 \text{ кг.}$$

Пример. Дан состав фарфоровой массы на сухое вещество, мас. %: глина – 16; каолин – 34; кварц – 23; полевой шпат – 27. Исходные материалы имеют влажность, мас. %: глина – 20; каолин – 15; кварц – 0,5; полевой шпат – 1,5. Требуется рассчитать потребное количество материалов и воды для получения 500 кг массы с влажностью 21%.

Находим необходимое количество сухих материалов:

– глина:

$$\frac{500 \cdot 0,16(100 - 21)}{100} = 63,2 \text{ кг};$$

– каолин:

$$\frac{500 \cdot 0,34(100 - 21)}{100} = 134,3 \text{ кг};$$

– кварц:

$$\frac{500 \cdot 0,23(100 - 21)}{100} = 90,85 \text{ кг};$$

– полевой шпат:

$$\frac{500 \cdot 0,27(100 - 21)}{100} = 106,65 \text{ кг}.$$

Для этого количества необходимо влажных материалов:

– глины:

$$\frac{63,2 \cdot 100}{100 - 20} = 79 \text{ кг};$$

– каолина:

$$\frac{134,3 \cdot 100}{100 - 15} = 158 \text{ кг};$$

– кварца:

$$\frac{90,85 \cdot 100}{100 - 0,5} = 91,3 \text{ кг};$$

– полевого шпата:

$$\frac{106,65 \cdot 100}{100 - 1,5} = 108,3 \text{ кг}.$$

Воды потребуется

$$500 - 79 - 158 - 91,3 - 108,3 = 63,4 \text{ кг.}$$

Эти же количества можно получить, подставив в уравнение (1.14) соответствующие данные:

– для глины:

$$\frac{500 \cdot 0,16(100 - 21)}{100 - 20} = 79 \text{ кг;}$$

– для каолина:

$$\frac{500 \cdot 0,34(100 - 21)}{100 - 15} = 158 \text{ кг;}$$

– для кварца:

$$\frac{500 \cdot 0,23(100 - 21)}{100 - 0,5} = 91,3 \text{ кг;}$$

– для полевого шпата:

$$\frac{500 \cdot 0,27(100 - 21)}{100 - 1,5} = 108,3 \text{ кг.}$$

Пример. Определить массу «коржей» влажностью 20%, полученных фильтрованием 1000 кг шликера влажностью 48%.

Подставив заданные значения в формулу (1.14), получим массу коржей:

$$x = \frac{1000(100 - 48)}{100 - 20} = 650 \text{ кг.}$$

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Известен химический состав фарфоровой массы по данным анализа, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 63,98;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 24,31;  $\text{TiO}_2$  – 0,05;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,81;  $\text{CaO}$  – 0,89;  $\text{MgO}$  – 0,23;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 3,98; потери при прокаливании (ППП) – 5,1; сумма – 99,35. Требуется привести этот состав к стопроцентному.

2. Пересчитать приведенный в табл. 1.2 химический состав глины и каолина на 100%.

Таблица 1.2

**Химический состав сырья**

Сырьевой компонент	Содержание оксида, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ППП	Сумма
Каолин	43,87	39,63	0,47	1,51	0,63	–	–	13,20	99,31
Глина	60,38	21,96	3,47	1,31	0,49	0,22	1,96	9,90	99,69

3. Пересчитать приведенный в табл. 1.3 химический состав компонентов, предназначенных для получения портландцементного клинкера, на 100%.

Таблица 1.3

**Химический состав исходных компонентов  
для расчета состава портландцементной сырьевой шихты**

Сырьевой компонент	Содержание оксида, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП	Сумма
Известняк	0,67	1,14	0,49	54,08	0,47	0,12	42,81	99,78
Глина	70,71	15,93	3,61	2,70	1,77	0,27	5,90	100,89
Пиритные огарки	11,97	1,51	79,24	2,11	0,20	3,08	0,81	98,92

4. Пересчитать приведенный в табл. 1.4 химический состав материалов, мас. %, на прокаленное вещество.

Таблица 1.4

**Химический состав сырьевых материалов**

Сырьевой компонент	Содержание оксида, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ППП	Сумма
Магнезит	–	0,31	0,05	–	61,26	38,38	100
Глина	63,75	15,60	2,86	5,63	1,48	10,68	100

5. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера по данным анализа имеет следующий химический состав, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 14,83; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,50; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,92; CaO – 43,0; MgO – 0,92; ППП – 35,85. Рассчитайте химический состав портландцементного клинкера.

6. Химический состав фарфоровой массы по данным анализа, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 63,85; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 24,75; TiO<sub>2</sub> – 0,1; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,58; CaO – 0,94; MgO – 0,28; K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O – 4,1; ППП – 5,2; сумма – 99,8. Рассчитайте химический состав фарфорового черепка.



7. Дан состав магнезита на влажное вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 0,07$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,02$ ;  $\text{MgO} - 40,11$ ;  $\text{CaO} - 0,37$ ; ППП – 53,10;  $\text{H}_2\text{O} - 6,23$ ;  $\sum P_w = 99,9$ . Требуется пересчитать состав магнезита на сухое вещество.

8. Известен состав фарфоровой массы на влажное вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 53,4$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 20,25$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,65$ ;  $\text{MgO} - 0,21$ ;  $\text{CaO} - 0,79$ ;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 3,75$ ; ППП – 6,5;  $\text{H}_2\text{O} - 14,45$ ;  $\sum P_w = 100,0$ . Требуется пересчитать состав фарфоровой массы на сухое вещество.

9. Дан состав каолина на сухое вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 43,95$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 39,10$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,45$ ;  $\text{CaO} - 1,50$ ;  $\text{MgO} - 0,62$ ; ППП – 14,30;  $\sum P_a = 99,91$ . Влажность 1%. Требуется пересчитать состав каолина на влажное вещество.

10. Дан состав сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера на сухое вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 14,50$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,72$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2,59$ ;  $\text{CaO} - 43,61$ ;  $\text{MgO} - 0,72$ ;  $\text{SO}_3 - 0,21$ ; ППП – 34,65;  $\sum P_a = 100,00$ . Требуется пересчитать состав сырьевой смеси на влажное вещество ( $w = 20\%$ ).

11. Дан состав шихты для получения глазури на сухое вещество, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 42,66$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,30$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 10,16$ ;  $\text{CaO} - 0,22$ ;  $\text{MgO} - 0,28$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 13,42$ ;  $\text{K}_2\text{O} - 0,51$ ;  $\text{B}_2\text{O}_3 - 11,81$ ; ППП – 18,55;  $\sum P_a = 99,91$ . Требуется пересчитать состав шихты на влажное вещество ( $w = 4,5\%$ ).

12. Состав сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера, мас. %: мел – 75,5; глина – 19,3; зола – 2,5; пиритные огарки – 2,7. Исходные материалы имеют влажность, мас. %: мел – 27,5; глина – 25; зола – 18; пиритные огарки – 23. Требуется рассчитать потребное количество материалов и воды для получения 1000 кг шликера с влажностью 40%.

13. Шихтовый состав глиняной массы для производства керамического кирпича на сухое вещество, мас. %: глина легкоплавкая – 75; шамот – 6; отходы формовочных смесей – 19. Исходные материалы имеют влажность, мас. %: глина легкоплавкая – 22; шамот – 0,5; отходы формовочных смесей – 3,0. Требуется рассчитать потребное количество материалов и при необходимости воды для приготовления пластичной массы с влажностью 21%.

14. Определить массу сырьевой смеси влажностью 19%, полученной фильтр-прессованием 5000 кг сырьевого шлама влажностью 38%.

15. Определить количество примесей в монтмориллонитовой глине (монтмориллонит –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), если она содержит, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 55,46;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 16,88. Определить содержание свободного кремнезема.

16. Определить содержание монтмориллонита в глине, если содержание  $\text{CaO}$  – 6,2 мас. %, а ППП – 15,4 мас. %. Остальными глинистыми минералами пренебречь.

17. Определить содержание  $\text{CaCO}_3$  в глине, если она включает 15,55 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в составе каолинита, а ППП равны 10,8 мас. %. Остальными глинистыми минералами пренебречь.

18. Определить содержание  $\text{CaCO}_3$  в глине, если она включает 9,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в составе монтмориллонита ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), а ППП равны 13,7. Остальными глинистыми примесями пренебречь.

19. Определить содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в глине, если она включает 5,7%  $\text{CaO}$ , а ППП составляют 11,3%. Учесть, что  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится в составе каолинита.

20. Доломит содержит 29,9%  $\text{CaO}$ , 21,5%  $\text{MgO}$ , 0,6  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Определить минералогический состав доломита, предполагая, что все оксиды находятся в составе углекислых солей.

21. Обожженный магнезит содержит 92,9%  $\text{MgO}$ , 0,62%  $\text{CaO}$ , 5,8%  $\text{CO}_2$ . Определить содержание свободного оксида магния, если весь  $\text{CaO}$  находится в составе карбоната кальция, а остаток  $\text{CO}_2$  связан с соответствующим количеством  $\text{MgO}$ .

22. Продукт обжига известняка содержит 74%  $\text{CaO}$ , 18%  $\text{CaCO}_3$ , 8%  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Определить содержание  $\text{CaCO}_3$  в исходном сырье, мас. %.

23. Доломитовая известь содержит 36%  $\text{MgO}$ , 25%  $\text{CaO}$ , 11%  $\text{CaCO}_3$ , 6%  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Определить содержание  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  в исходном сырье.

24. Глина содержит 55% каолинита, 11% карбоната кальция, 18% кремнезема и 8% монтмориллонита ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Определить потери при прокаливании глины.

25. На полную гидратацию 10 кг строительного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) израсходовано 1,75 л воды. Определить содержание примесей в негидратированном гипсовом вяжущем.

26. При обжиге глиняного сырца получили керамические изделия, содержащие 66%  $\text{SiO}_2$ , 18%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 6%  $\text{CaO}$ , 5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 5%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Определить минералогический состав исходной глины, мас. %, если

в ней находились  $\text{CaCO}_3$ ,  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , калиевый и натриевый полевые шпаты.

27. Химический анализ каолиновой глины дал следующие результаты, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 59,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 25,2;  $\text{CaO}$  – 2,1; второстепенные оксиды – остальное. Определить, сколько в данной глине содержится каолинита, кремнезема и карбонатного кальция.

28. Рассчитать химический состав стекла, мас. %, если сырьевая шихта содержала 60%  $\text{SiO}_2$ , 10%  $\text{CaCO}_3$ , 5%  $\text{MgCO}_3$ , 25%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Улетучиванием и примесями пренебречь.

29. Определить количество примесей в каолине, если он содержит 36,1%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Определить содержание карбоната кальция, если ППП каолина составят 13,1%. Остальными карбонатами пренебречь.

30. Определить химический состав продукта обжига легкоплавкой глины, если глина содержит, мас. %: каолинита – 36, монтмориллонита – 15, карбоната кальция – 8, доломита – 2, лимонита ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – 7, натриевого полевого шпата – 3, калиевого полевого шпата – 1,5; остальное – кремнезем.

31. Мел имеет следующий химический состав, мас. %:  $\text{CaO}$  – 50,1;  $\text{SiO}_2$  – 3,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,2; ППП – остальное. Определить минералогический состав, если  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится в составе каолинита,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – в составе лимонита ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). По ГОСТ 1498–80 содержание  $\text{CaCO}_3$  должно быть не менее 98%, оксидов железа – не более 0,2%. Пригоден ли данный мел для производства стекла?

32. Для производства стекла по ГОСТ 5100–79 кальцинированная сода должна иметь следующий состав, мас. %:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – не менее 95;  $\text{NaCl}$  – не более 1;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – не более 0,2. Поступившая на завод сода имеет следующий химический состав, мас. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 40,2;  $\text{SiO}_2$  – 4,7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,18;  $\text{Cl}$  – 0,2; ППП – остальное. Пригодна ли данная сода для производства стекла?

33. Для производства стекла по ГОСТ 5100–79 кальцинированная сода должна иметь не менее 95%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . ППП поступившей на завод соды составляет 36%. Пригодна ли данная сода для производства стекла? Остальными разлагающимися примесями пренебречь.

34. Каменный материал содержит, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 72,99;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11,10. Минералогическим анализом установлено, что в состав материала входят кварц и слюда-мусковит ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Сколько данных составляющих содержится в материале?

35. Воздушная строительная известь содержит 74% CaO, 18% CaCO<sub>3</sub> и 8% 2CaO · SiO<sub>2</sub>. Определить содержание CaCO<sub>3</sub> в исходном сырье, мас. %.

36. Доломитовая известь содержит 36% MgO, 25% CaO, 11% CaCO<sub>3</sub> и 6% 2CaO · SiO<sub>2</sub>. Определить содержание CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub> в исходном сырье.

37. Строительный гипс после обжига наряду с β-полугидратом содержит в своем составе 5% обезвоженного полугидрата, 3% растворимого ангидрита, 2% дигидрата и 3% SiO<sub>2</sub>. Определить потерю воды при обжиге и содержание CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O в исходном сырье.

38. При обжиге двухводного гипса на эстрих-гипсе в составе конечного продукта содержалось 78% ангидрита, 4% CaO, 5% CaSO<sub>4</sub> · 0,5H<sub>2</sub>O, 9% метакаолинита, остальное – неразлагающиеся примеси. Определить содержание CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O в исходном сырье.

39. Определить состав строительного гипса, в котором наряду с полугидратом и неразложившимся двугидратом содержалось 4% ангидрита и 4% негидратирующихся примесей, если на химическую реакцию гидратации потребовалось 17% воды от массы гипса.

40. На полную гидратацию 10 кг строительного гипса израсходовано 1,75 л воды. Определить содержание примесей в исходном гипсовом вяжущем.

41. Выявить химический состав сырья, использованного для получения гидравлической извести, если в составе ее содержится 3% SiO<sub>2</sub>, 3% CaCO<sub>3</sub>, 8% – β-2CaO · SiO<sub>2</sub>, 9% 2CaO · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8% 2CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub>, остальное – свободная CaO.

42. В известняке кроме CaCO<sub>3</sub> содержится 6% SiO<sub>2</sub>, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Определить гидравлический модуль и дать заключение о гидравлическости извести.

## 2. РАСЧЕТ СОСТАВА СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

### 2.1. Расчет сырьевой смеси для получения вяжущих веществ

Для получения портландцемента, глиноземистого цемента и других вяжущих веществ сырьевая смесь составляется из двух и большего числа сырьевых компонентов. В этих случаях производится расчет сырьевой смеси, имеющий целью определить количественное соотношение составных частей.

Состав портландцементного клинкера характеризуется:

- содержанием составляющих клинкер оксидов;
- содержанием главных составляющих клинкер минералов;
- значениями коэффициента насыщения (КН) и модулей (*n* и *p*).

Содержание основных оксидов в портландцементном клинкере колеблется в следующих пределах, мас. %: CaO – 61–66; SiO<sub>2</sub> – 21–24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4–8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2–5; MgO, SO<sub>3</sub> и др. – 1,5–4,0.

Содержание главных клинкерных материалов в рядовом портландцементном клинкере колеблется в следующих пределах, мас. %: 3CaO · SiO<sub>2</sub> – 50–63; 2CaO · SiO<sub>2</sub> – 18–25; 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4–11; 4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10–20; второстепенные фазы – 2–5.

Коэффициент насыщения (КН) – показатель, характеризующий полноту насыщения кремнезема оксидами кальция в процессе клинкерообразования.

Коэффициент насыщения рассчитывается по формуле

$$КН = \frac{(CaO_{\text{общ}} - CaO_{\text{св}}) - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,70SO_3)}{2,8(SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{св}})},$$

где числитель представляет собой количество CaO, которое фактически остается в клинкере на долю силикатов после насыщения прочих кислотных оксидов (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), а знаменатель – теоретическое количество CaO, которое необходимо для связывания всего кремнезема в трехкальциевый силикат.

Предельная величина КН, при которой силикаты представлены только трехкальциевым силикатом, равна 1; низшая, при которой в клинкере присутствует только  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , равна 0,67. При  $\text{КН} > 1$  в клинкере появляется несвязанный  $\text{CaO}$ , при  $\text{КН} < 0,67$  образуются низкоактивные цементные соединения, т. е. область составов портландцементного клинкера находится в пределах  $\text{КН} = 0,67-1$ .

Если при взаимодействии оксида кальция с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в клинкере образуются предельно насыщенные оксидом кальция соединения (соединения наивысшей основности –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), то при взаимодействии  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  наряду с предельно основным силикатом  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  образуются также соединения с меньшей основностью –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Силикатный (кремнеземистый модуль) ( $n$ ) представляет собой отношение содержания кремнезема к суммарному содержанию полуторных оксидов, мас. %:

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Значения модуля в промышленных клинкерах изменяются в пределах 1,7–3,6.

Глиноземный (алюминатный) модуль ( $p$ ) представляет собой отношение содержания оксида алюминия к содержанию оксида железа(III), мас. %:

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

В обычных промышленных клинкерах значение модуля составляет 0,9–3,0.

Характеристика проектируемого клинкера обычно задается или коэффициентом насыщения и модулями, или процентным содержанием основных клинкерных минералов. Для получения заданного состава клинкера смесь должна состоять из определенного числа компонентов. В зависимости от числа компонентов различают двух-, трех-, четырехкомпонентную сырьевую смесь. Взаимосвязь между количеством компонентов и характеристиками клинкера показана в табл. 2.1.

**Характеристика клинкера  
в зависимости от количества компонентов сырьевой смеси**

Характеристики, которые задаются	Заданный минералогический состав	Необходимое количество компонентов в сырьевой смеси
КН, $n, p$	$C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF$	4
КН, $n$	$C_3S, C_2S$	3
КН, $p$	$C_3S, C_2S, C_3A$	3
КН	$C_3S, C_2S$	2

При использовании для обжига клинкера твердого топлива расчет смеси независимо от числа исходных компонентов проводится с учетом присадки золы к клинкеру.

## 2.2. Расчет двухкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента

Расчет двухкомпонентной сырьевой смеси без учета присадки золы топлива проводят по коэффициенту насыщения (КН) и по известному химическому составу каждого компонента (мела и глины). Состав смеси характеризуется количеством частей одного из компонентов, которые приходятся на одну часть другого компонента.

Так, пусть  $x$  частей первого компонента приходится на одну часть второго компонента, тогда необходимое содержание основных оксидов в двухкомпонентной сырьевой смеси может быть выражено следующими уравнениями:

$$C_0 = \frac{x C_1 + C_2}{x + 1}; \quad A_0 = \frac{x A_1 + A_2}{x + 1};$$

$$S_0 = \frac{x S_1 + S_2}{x + 1}; \quad F_0 = \frac{x F_1 + F_2}{x + 1},$$

где  $C_0, A_0, S_0, F_0$  – процентное содержание основных оксидов ( $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$  соответственно) в сырьевой смеси, которое обеспечивает содержание клинкера с заданным коэффициентом насыщения;  $C_1, C_2, S_1, S_2, A_1, A_2, F_1, F_2$  – процентное содержание основных оксидов в первом и втором компонентах.

Для определения величины  $x$  значения  $C_0, A_0, S_0, F_0$  подставляют в упрощенную формулу коэффициента насыщения  $KH$ , потому что остается неизвестным, какое количество  $CaO, SiO_2$  и  $SO_3$  находится в клинкере в свободном состоянии. Кроме того,  $SO_3$  частично улетучивается в процессе обжига.

$$KH = \frac{C_0 - (1,65A_0 + 0,35F_0)}{2,8S_0}.$$

Решая данное уравнение относительно  $x$ , получаем формулу для расчета двухкомпонентной сырьевой смеси с заданным коэффициентом насыщения:

$$x = \frac{2,8S_2 \cdot KH + 1,65A_2 + 0,35F_2 - C_2}{C_1 - 2,8S_1 \cdot KH - 1,65A_1 - 0,35F_1}.$$

Пример. Рассчитать двухкомпонентную сырьевую смесь, в которой первый компонент – мел, второй – глина, химический состав компонентов представлен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Химический состав компонентов**

Компонент	Состав, мас. %						
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Прочие	ППП	Сумма
Мел	54,94	1,92	1,03	0,65	0,58	40,95	100
Глина	2,54	64,79	14,45	7,43	6,08	4,76	100

Принимаем коэффициент насыщения 0,92.

При указанном химическом составе мела и глины их соотношение  $x$  в сырьевой смеси должно быть

$$x = \frac{2,8 \cdot 64,79 \cdot 0,92 + 1,65 \cdot 14,45 + 0,35 \cdot 7,43 - 2,54}{54,94 - 2,8 \cdot 1,92 \cdot 0,92 - 1,65 \cdot 1,08 - 0,35 \cdot 0,63} = \frac{137,16}{48,18} = \frac{3,89}{1}.$$

Таким образом, на каждую часть глины следует взять 3,89 части мела. В процентном выражении это составляет: мела – 79,95%; глины – 20,05%.

Химический состав сырьевой смеси и клинкера при таком соотношении исходных компонентов представлен в табл. 2.3.



Таблица 2.3

**Химический состав сырьевой смеси и клинкера**

Компонент	Состав, мас. %						
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Прочие	ППП	Сумма
Мел, 79,95 мас. ч.	43,92	1,54	0,82	0,51	0,42	32,74	79,95
Глина, 20, мас. ч.	0,46	13,02	2,91	1,47	1,23	0,96	20,05
Сырьевая смесь	44,38	14,56	3,73	1,98	1,65	33,70	100,0
Клинкер	66,52	21,95	5,65	2,99	2,49	–	100,0

Химический состав клинкера при известном химическом составе сырьевой смеси находят умножением процентного состава каждого оксида в смеси на коэффициент  $K$ , который в данном случае равен

$$K = \frac{100}{100 - 33,7} = 1,508,$$

где  $K$  – коэффициент, который показывает, во сколько раз увеличится относительное содержание твердых оксидов в сырьевой смеси после обжига, т. е. после удаления газообразных продуктов – потерь при прокаливании; 33,7 – потери при прокаливании смеси.

Для проверки верности производственного расчета двухкомпонентной сырьевой смеси вычисляют коэффициент насыщения. Он должен равняться заданному, который принят в данном примере, т. е. 0,92.

$$KH = \frac{66,92 - (1,65 \cdot 5,65 + 0,35 \cdot 2,99)}{2,8 \cdot 21,95} = \frac{56,6}{61,46} = 0,92.$$

Полученный коэффициент насыщения совпадает с заданной величиной, что подтверждает правильность расчета.

### **2.3. Расчет трехкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента**

При расчете трехкомпонентной сырьевой смеси задают две характеристики состава портландцементного клинкера: коэффициент насыщения и силикатный или глиноземный модуль.

Если силикатный модуль является второй заданной характеристикой, выбор третьего компонента (корректирующей добавки) зависит от необходимости повысить или снизить силикатный модуль.

В первом случае таким компонентом служит материал, обогащенный кремнеземом (трепел, глина с высоким содержанием кремнезема, песок и др.), во втором – материал, обогащенный глиноземом или оксидом железа (пиритные огарки, железные руды, бокситы и др.).

Глиноземный или железосодержащий материал в качестве корректирующей добавки выбирается в зависимости от того, как необходимо изменить глиноземный модуль одновременно с силикатным. Если второй заданной характеристикой является глиноземный модуль, то для повышения его значения обычно используют высокоглиноземистую глину или бокситы, а для снижения – пиритные огарки и железную руду. Введение добавок для корректирования глиноземного модуля одновременно снижает величину силикатного модуля.

Если состав клинкера задан величиной КН и силикатным модулем, то, принимая, что в сырьевой смеси на одну массовую часть третьего компонента приходится  $x$  частей первого компонента и  $y$  частей второго компонента, можно написать следующие равенства, которые характеризуют количество основных оксидов в сырьевой смеси:

$$C_0 = \frac{x C_1 + y C_2 + C_3}{x + y + 1}; \quad A_0 = \frac{x A_1 + y A_2 + A_3}{x + y + 1};$$

$$S_0 = \frac{x S_1 + y S_2 + S_3}{x + y + 1}; \quad F_0 = \frac{x F_1 + y F_2 + F_3}{x + y + 1};$$

$$KH = \frac{C_0 - 1,65 A_0 + 0,35 F_0}{2,8 S_0}; \quad n = \frac{S_0}{A_0 + F_0}.$$

После подстановки  $C_0$ ,  $A_0$ ,  $S_0$ ,  $F_0$  в формулы коэффициента насыщения и силикатного модуля получим систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} x(C_1 - 2,8 S_1 \cdot KH - 1,65 A_1 - 0,35 F_1) + y(C_2 - 2,8 S_2 \cdot KH - 1,65 A_2 - 0,35 F_2) = 2,8 S_3 \cdot KH + 1,65 A_3 + 0,35 F_3 - C_3, \\ x(S_1 - n A_1 - n F_1) + y(S_2 - n A_2 - n F_2) = n A_3 - n F_3 - S_3. \end{cases}$$

Для удобства принимаем следующие обозначения:

$$a_1 = C_1 - 2,8 S_1 \cdot KH - 1,65 A_1 - 0,35 F_1;$$

$$b_1 = C_2 - 2,8 S_2 \cdot KH - 1,65 A_2 - 0,35 F_2;$$

$$c_1 = 2,8 S_3 \cdot KH + 1,65 A_3 + 0,35 F_3 - C_3;$$

$$a_2 = S_1 - nA_1 - nF_1;$$

$$b_2 = S_2 - nA_2 - nF_2;$$

$$c_2 = nA_3 - nF_3 - S_3.$$

Подставив эти обозначения в приведенную выше систему, получим

$$\begin{cases} a_1x + b_1y = C_1, \\ a_2x + b_2y = C_2. \end{cases}$$

Решив данную систему двух уравнений с двумя неизвестными, получим следующие значения  $x$  и  $y$ :

$$x = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}; \quad y = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}.$$

Используя эти выражения, дальнейший расчет состава сырьевой смеси и клинкера выполняют в том же порядке, как и для двухкомпонентной сырьевой смеси.

Если состав клинкера задан значением КН и глиноземным модулем, то величины  $C_0$ ,  $A_0$ ,  $S_0$ ,  $F_0$ ,  $C_0$  подставляют в формулы

$$\text{КН} = \frac{C_0 - 1,65A_0 + 0,35F_0}{2,8S_0}; \quad p = \frac{A_0}{F_0}.$$

Пример. Рассчитать трехкомпонентную сырьевую смесь. Химический состав исходных материалов, пересчитанный на 100%, приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Химический состав исходных компонентов**

Компонент	Состав, мас. %							$n$	$p$
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ППП	Сумма		
Известняк	0,152	0,506	0,303	55,08	0,496	43,46	100	0,19	1,67
Глина	65,148	15,822	5,791	2,688	–	10,548	100	3,0	2,73
Магнезит	4,148	0,104	70,51	13,687	–	11,551	100	0,06	0,01

Задаемся коэффициентом насыщения  $\text{КН} = 0,9$  и силикатным модулем  $n = 2,0$ .

Силикатный модуль глины значительно превышает заданную величину. Низший силикатный модуль известняка лишь незначительно снизит силикатный модуль сырьевой смеси, так как содержание

в известняке кислотных оксидов весьма мало. Поскольку наряду с понижением величины силикатного модуля нужно понизить и величину глиноземного модуля, в качестве третьего компонента выбираем магнезит, т. е. материал, богатый оксидом железа.

Определяем соотношение между сырьевыми компонентами:

$$a_1 = 55,08 - 2,8 \cdot 0,152 \cdot 0,9 - 1,65 \cdot 0,506 - 0,35 \cdot 0,303 = 53,756;$$

$$a_2 = 0,152 - 2,0 \cdot 0,506 - 2,0 \cdot 0,303 = -1,466;$$

$$b_1 = 2,688 - 2,8 \cdot 65,148 \cdot 0,9 - 1,65 \cdot 15,822 - 0,35 \cdot 5,791 = \\ = -189,618;$$

$$b_2 = 65,148 - 2,0 \cdot 15,822 - 2,0 \cdot 5,791 = 21,922;$$

$$c_1 = 2,8 \cdot 4,148 \cdot 0,9 + 1,65 \cdot 0,104 + 0,35 \cdot 7,051 - 13,687 = \\ = 21,6861;$$

$$c_2 = 2,0 \cdot 0,104 + 2,0 \cdot 70,51 - 4,148 = 137,08;$$

$$x = \frac{21,6821 \cdot 21,922 - 137,08(-189,618)}{53,756 \cdot 21,922 - (-1,466)(-189,618)} = 29,39;$$

$$y = \frac{53,756 \cdot 137,08 - (-1,466)21,6861}{53,756 \cdot 21,922 - (-1,466)(-189,618)} = 8,21.$$

Следовательно, в сырьевой смеси на 1 мас. ч. магнезита приходится 29,39 мас. ч. известняка и 8,21 мас. ч. глины.

Состав сырьевой смеси, мас. %:

$$\text{известняк: } \frac{29,39}{1 + 29,39 + 8,21} = 76,14;$$

$$\text{глина: } \frac{8,21}{1 + 29,39 + 8,21} 100 = 21,26;$$

$$\text{магнезит: } \frac{1}{1 + 29,39 + 8,21} 100 = 2,6.$$

Вычисляем химический состав сырьевой смеси и клинкера (табл. 2.5).

$$\text{КН} = \frac{66,57 - 1,65 \cdot 5,82 - 0,35 \cdot 5,12}{2,8 \cdot 21,88} = 0,9;$$

$$n = \frac{21,88}{5,82 + 5,12} = 2; \quad p = \frac{5,82}{5,12} = 1,13.$$

Таблица 2.5

**Подсчет химического состава сырьевой смеси и клинкера**

Компонент	Содержание оксида, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ППП	Сумма
Известняк, 76,14 мас. %	0,116	0,385	0,23	41,94	0,377	33,09	76,14
Глина, 21,26 мас. %	13,86	3,36	1,231	0,571	–	2,24	21,26
Магнезит, 2,6 мас. %	0,108	0,003	1,833	0,355	–	0,3	2,6
Состав сырьевой смеси	14,084	3,748	3,294	42,866	0,377	35,63	100
Состав клинкера	21,88	5,82	5,12	66,57	0,59	–	100

Полученные значения коэффициента насыщения и силикатного модуля показывают, что расчет сырьевой смеси проведен правильно.

#### 2.4. Расчет четырехкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента

При расчете четырехкомпонентной сырьевой смеси следует задаваться тремя характеристиками состава портландцемента: коэффициентом насыщения, силикатным и глиноземным модулями.

Принимая, что на 1 мас. ч. четвертого компонента приходится  $x$  мас. ч. первого компонента,  $y$  мас. ч. второго компонента и  $z$  мас. ч. третьего компонента, можно написать следующие равенства:

$$C_0 = \frac{x C_1 + y C_2 + z C_3 + C_4}{x + y + z + 1}; \quad A_0 = \frac{x A_1 + y A_2 + z A_3 + A_4}{x + y + z + 1};$$

$$S_0 = \frac{x S_1 + y S_2 + z S_3 + S_4}{x + y + z + 1}; \quad F_0 = \frac{x F_1 + y F_2 + z F_3 + F_4}{x + y + z + 1}.$$

Подставляя указанные значения в формулы коэффициента насыщения, силикатного и глиноземного модулей

$$KH = \frac{C_0 - 1,65A_0 - 0,35F_0}{2,8S_0}; \quad n = \frac{S_0}{A_0 + F_0}; \quad p = \frac{A_0}{F_0},$$

получим систему трех линейных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} x(2,8S_1 \cdot KH + 1,65A_1 + 0,35F_1 - C_1) + y(2,8S_2 \cdot KH + 1,65A_2 + \\ + 0,35F_2 - C_2) + z(2,8S_3 \cdot KH + 1,65A_3 + 0,35F_3 - C_3) = \\ = C_4 - 2,8S_4 \cdot KH - 1,65A_4 + 0,35F_4 - C_3, \\ x(nA_1 + nF_1 - S_1) + y(nA_2 + nF_2 - S_2) + z(nA_3 + nF_3 - S_3) = \\ = S_4 - nA_4 - nF_4, \\ x(pF_1 - A_1) + y(pF_2 - A_2) + z(pF_3 - A_3) = A_4 - pF_4. \end{cases}$$

Для удобства расчетов примем следующие обозначения:

$$a_1 = 2,8S_1 \cdot KH + 1,65A_1 + 0,35F_1 - C_1;$$

$$b_1 = -2,8S_2 \cdot KH + 1,65A_2 + 0,35F_2 - C_2;$$

$$c_1 = 2,8S_3 \cdot KH + 1,65A_3 + 0,35F_3 - C_3;$$

$$d_1 = C_4 - 2,8S_4 \cdot KH - 1,65A_4 - 0,35F_4.$$

$$a_2 = nA_1 + nF_1 - S_1; \quad a_3 = pF_1 - A_1;$$

$$b_2 = nA_2 + nF_2 - S_2; \quad b_3 = pF_2 - A_2;$$

$$c_2 = nA_3 + nF_3 - S_3; \quad c_3 = pF_3 - A_3;$$

$$d_2 = S_4 - nA_4 - nF_4; \quad d_3 = A_4 - pF_4.$$

Подставив эти обозначения в систему линейных уравнений, получим следующие равенства:

$$a_1x + b_1y + c_1z = d_1;$$

$$a_2x + b_2y + c_2z = d_2;$$

$$a_3x + b_3y + c_3z = d_3.$$

решение которых дает следующие значения для  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$x = \frac{d_1(b_2c_3 - d_3c_2) + d_2(b_3c_1 - b_1c_3) + d_3(b_1c_2 - b_2c_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)},$$

$$y = \frac{a_1(d_2c_3 - d_3c_2) + a_2(d_3c_1 - d_1c_3) + a_3(d_1c_2 - d_2c_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)},$$

$$z = \frac{a_1(b_2d_3 - b_3d_2) + a_2(b_3d_1 - b_1d_3) + a_3(b_1d_2 - b_2d_1)}{a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + a_2(b_3c_1 - b_1c_3) + a_3(b_1c_2 - b_2c_1)}.$$

Пользуясь приведенными формулами, производят расчет в том же порядке, как и для трехкомпонентной сырьевой смеси.

## 2.5. Расчет рационального состава сырьевых материалов и масс

При определении рационального состава минерального сырья (а также шихты керамических масс) обычно рассчитывают содержание глинистых минералов, полевых шпатов и кварца. Если в шихте содержатся другие минералы (циркон  $ZrSiO_4$ , доломит  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ), то их можно выделить как самостоятельные компоненты.

**Пример.** Определить рациональный состав шихты по ее химическому анализу. Химический состав глины, мас. %:  $SiO_2 - 51,11$ ;  $Al_2O_3 + TiO_2 - 33,72$ ;  $CaO - 0,55$ ;  $MgO - 0,6$ ;  $Fe_2O_3 - 1,16$ ;  $Na_2O - 0,82$ ;  $K_2O - 0,95$ ; ППП – 10,81.

Требуется определить содержание каолинита, альбита и ортоклазы в глине по содержанию в ней  $Na_2O$  и  $K_2O$ .

Молярная масса:

- альбита  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 - 524$  г/моль;
- ортоклаза  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 - 556$  г/моль;
- $Na_2O - 62$  г/моль;
- $K_2O - 94$  г/моль.

Количество ортоклаза в 100 мас. ч. глины определяют из соотношения (исходя из закона эквивалентов)

$$\begin{aligned} & 556 \text{ г/моль} - 94 \text{ г/моль,} \\ & x \text{ мас. ч. ортоклаза} - 0,95 \text{ мас. ч. } K_2O, \\ & x = 5,6 \text{ мас. ч. ортоклаза.} \end{aligned}$$

Количество альбита:

$$\begin{aligned} & 524 \text{ г/моль} - 62 \text{ г/моль,} \\ & x \text{ мас. ч. альбита} - 0,82 \text{ мас. ч. } Na_2O, \\ & x = 6,9 \text{ мас. ч. альбита.} \end{aligned}$$

Зная молекулярный состав альбита и ортоклаза, определяют количество  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  в мас. ч. (их молярная масса 102 и 60 соответственно), входящих с полевым шламом в состав сырья:

$$Al_2O_3 \text{ в ортоклазе: } \left. \begin{array}{r} 556 - 102 \\ 5,6 - x \end{array} \right\} x = 1,0 \text{ мас. ч.}$$

$$Al_2O_3 \text{ в альбите: } \left. \begin{array}{r} 524 - 102 \\ 6,9 - x \end{array} \right\} x = 1,3 \text{ мас. ч.}$$

$$\left. \begin{array}{r} \text{SiO}_2 \text{ в ортоклазе: } 556 - 360 \\ 5,6 - x \end{array} \right\} x = 3,6 \text{ мас. ч.}$$

$$\left. \begin{array}{r} \text{SiO}_2 \text{ в альбите: } 524 - 360 \\ 6,9 - x \end{array} \right\} x = 4,7 \text{ мас. ч.}$$

Таким образом, ортоклазом и альбитом связано  $(1 + 1,3)$  мас. ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Всего в глине, по данным химического анализа, 33,7 мас. ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , следовательно,  $33,7 - 2,3 = 31,4$  мас. ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  связано в каолинит.

Исходя из молекулярной формулы каолинита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (молярная масса 258) и содержания в нем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  рассчитывают количество каолинита в глине:

$$\begin{aligned} & 258 \text{ г/моль} - 102 \text{ г/моль,} \\ & x \text{ мас. ч. каолинита} - 31,4 \text{ мас. ч. } \text{Al}_2\text{O}_3, \\ & x = 79,4 \text{ мас. ч. каолинита.} \end{aligned}$$

С этим количеством каолинита связано следующее количество  $\text{SiO}_2$ :

$$\begin{aligned} & 258 \text{ г/моль} - 120 \text{ г/моль,} \\ & 79,4 \text{ мас. ч. каолинита} - x \text{ мас. ч. } \text{SiO}_2, \\ & x = 36,9 \text{ мас. ч.} \end{aligned}$$

Несвязанный кремнезем (свободный кварц) определяют по разности между общим количеством кремнезема в глине (по данным анализа – 51,1) и количеством кремнезема, связанного в альбите, каолине и ортоклазе:

$$51,1 - (3,6 + 4,7 + 36,9) = 5,9 \text{ мас. ч.}$$

В сырье, содержащем небольшое количество других оксидов ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и др.), количество минералов, содержащих оксиды, не рассчитывается.

Таким образом, рациональный состав глины, %, следующий:

ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	5,6
альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	6,9
каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	79,4
свободный $\text{SiO}_2$	5,9
<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Итого:	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 97,8

Примесей ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ):  $100 - 97,8 = 2,2\%$ .

Пример. По химическому составу массы рассчитать ее шихтовый состав. Химический состав керамической массы, мас. %:



SiO<sub>2</sub> – 58,69; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 29,39; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,85; CaO – 0,13; MgO – 0,08; K<sub>2</sub>O – 3,18; ППП – 7,71.

Для упрощения расчета принимаем, что исходные материалы имеют состав, приведенный в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Состав исходных материалов**

Материал	Молекулярная формула	Молярная масса, г/моль	Состав, мас. ч.			
			K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Полевой шпат	K <sub>2</sub> O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 6SiO <sub>2</sub>	556,7	94,2	101,96	360,54	–
Каолин	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	258,13	–	101,96	120,18	36
Кварц	SiO <sub>2</sub>	60,09	–	–	60,09	–

*Примечание.* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO принимаются как примеси к каолину.

Пользуясь формулой полевого шпата, определяют его содержание по K<sub>2</sub>O исходя из пропорции

$$556,7 \text{ г/моль полевого шпата} - 94,2 \text{ г/моль K}_2\text{O},$$

$$x \text{ мас. ч. полевого шпата} - 3,18 \text{ мас. ч. K}_2\text{O},$$

$$x = 18,79 \text{ мас. ч. полевого шпата.}$$

Количество глинозема и кремнезема, введенных с полевым шпатом, рассчитывают исходя из следующих пропорций:

$$\text{а) } 556,7 \text{ г/моль полевого шпата} - 101,96 \text{ г/моль Al}_2\text{O}_3,$$

$$18,79 \text{ мас. ч. полевого шпата} - x \text{ мас. ч. Al}_2\text{O}_3,$$

$$x = 3,41 \text{ мас. ч. Al}_2\text{O}_3;$$

$$\text{б) } 556,7 \text{ г/моль полевого шпата} - 360,54 \text{ г/моль SiO}_2,$$

$$18,79 \text{ мас. ч. полевого шпата} - y \text{ мас. ч. SiO}_2,$$

$$y = 12,17 \text{ мас. ч. SiO}_2.$$

Устанавливаем содержание каолина (с каолином введено 29,39 – 3,41 = 25,98 мас. ч. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):

$$258,13 \text{ г/моль каолина} - 101,96 \text{ г/моль Al}_2\text{O}_3,$$

$$x \text{ мас. ч. каолина} - 25,98 \text{ мас. ч. Al}_2\text{O}_3,$$

$$x = 65,7 \text{ мас. ч. каолина.}$$

Количество SiO<sub>2</sub>, вводимого с каолином, можно определить, пользуясь пропорцией

258,13 г/моль каолина – 120,18 г/моль SiO<sub>2</sub>,  
 65,7 мас. ч. каолина – у мас. ч. SiO<sub>2</sub>,  
 у = 30,58 мас. ч. SiO<sub>2</sub>.

Количество несвязанного (свободного) SiO<sub>2</sub> составит  
 58,69 – (12,17 + 30,58) = 15,94 мас. ч. кварца.

Небольшие количества оксида железа, кальция и магния являются постоянными примесями глинистых минералов. Поэтому в данном случае можно прибавить их к полученному расчетом количеству каолина:

$$65,7 + 0,85 + 0,13 + 0,08 = 66,75 \text{ мас. ч.}$$

Таким образом, шихтовый состав массы, мас. ч.: каолин – 66,76; кварц – 15,94; полевой шпат – 18,79.

## 2.6. Определение шихтового состава керамической массы по химическому составу черепка и сырьевых материалов

Пример. Дан химический состав полуфарфорового черепка, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 72,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 24,8; K<sub>2</sub>O – 2,8. Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 2.7. Требуется рассчитать шихтовый состав массы.

Таблица 2.7

**Химический состав сырьевых материалов**

Материал	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ППП	Сумма
Глина	59,65	25,01	2,11	1,21	0,34	0,38	0,65	0,21	10,48	100
Каолин	49,26	37,02	0,52	–	0,65	0,13	0,30	0,08	12,04	100
Полевой шпат	58,01	18,52	0,16	–	0,23	0,34	3,22	8,87	0,65	100
Кварцевый песок	96,12	3,01	0,05	0,12	–	–	–	–	0,70	100

Исходя из формовочных свойств сырья, принимают количество пластичной глины в массе равным 30%. При этом с глиной будут введены отдельные оксиды в следующем количестве, мас. ч.:

$$\text{SiO}_2 = 59,65 \cdot 0,3 = 17,9;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,01 \cdot 0,3 = 7,5;$$

$$\text{K}_2\text{O} = (0,65 + 0,21) 0,3 = 0,3.$$

После введения в массу глины останется ввести с другими материалами следующее количество оксидов, мас. ч.:

$$\text{SiO}_2 = 72,4 - 17,9 = 54,5;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 24,8 - 7,5 = 17,3;$$

$$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 2,8 - 0,3 = 2,5.$$

Оставшееся количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и щелочей введено с каолином и полевым шпатом (количеством  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , введенным с кварцевым песком, пренебрегают). Для определения содержания в массе этих материалов составляют систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 0,0038x + 0,1209y = 2,5, \\ 0,3702x + 0,1852y = 17,3, \end{cases}$$

где  $x$  – количество каолина, которое необходимо ввести в массу;  $y$  – количество полевого шпата.

Первое уравнение определяет количество щелочных оксидов ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ), введенных в массу с каолином и полевым шпатом в количестве 2,5 мас. ч. Второе равенство соответствует количеству  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (17,3 мас. ч.), введенному в массу с каолином и полевым шпатом.

Решение уравнений дает следующие значения:

$$y = 19,4 \text{ мас. ч.};$$

$$x = 42,0 \text{ мас. ч.}$$

Следовательно, каолин должен быть введен в количестве 42, а полевой шпат – 19,4 мас. ч.

После того как найдено количество глины, каолина и полевого шпата, остается определить количество кварцевого песка.

Вычисляют количество  $\text{SiO}_2$ , введенное с глиной, каолином и полевым шпатом, мас. ч.:

$$- \text{с глиной: } 59,7 \cdot 0,3 = 17,9;$$

$$- \text{с каолином: } 49,2 \cdot 0,42 = 20,7;$$

$$- \text{с полевым шпатом: } 68,01 \cdot 0,194 = 13,2.$$

Дополнительно остается ввести  $\text{SiO}_2$ :

$$72,4 - (17,9 + 20,7 + 13,2) = 20,6 \text{ мас. ч.}$$

Так как в кварцевом песке содержится 96,12% SiO<sub>2</sub>, то для введения 20,6 вес. ч. SiO<sub>2</sub> необходимо следующее количество песка:

$$\frac{20,6 \cdot 100}{96,1} = 21,4 \text{ мас. ч.}$$

Шихтовый состав массы представлен в табл. 2.8.

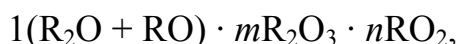
Таблица 2.8

**Шихтовый состав керамической массы**

Материал	Содержание	
	мас. ч.	мас. %
Глина	30	26,6
Каолин	42	37,2
Полевой шпат	19,4	17,2
Кварцевый песок	21,4	19,0
<i>Всего</i>	112,8	100

## 2.7. Расчет брутто-состава глазури по составу шихты

**Составы глазурей.** Для сопоставления сложных составов различных глазурей и изучения влияния различных стеклообразующих оксидов на свойства глазурей пользуются специальной формулой (формула Зегера), согласно которой сумму одновалентных оснований R<sub>2</sub>O (K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Li<sub>2</sub>O и др.) и двухвалентных RO (CaO, MgO и др.) приравнивают к единице. С этой «единицей» и сопоставляется число молей «нейтральных» оксидов типа R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Следовательно, в левой части формулы приведено количество основных оксидов, в средней – количество «нейтральных» оксидов и в правой части – кислотные оксиды:



где (R<sub>2</sub>O + RO) – одно- и двухвалентные основные оксиды; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – «нейтральные» оксиды; RO<sub>2</sub> – кислотные оксиды; *m*, *n* – коэффициенты.

**Пример.** Дан состав легкоплавкой глазури, мас. %: кварцевый песок – 36,1; сода кальцинированная – 21,3; глина – 6,2; оксид железа – 9,4; борная кислота – 21,8; полевого шпат – 5,2.

Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 2.9.

Таблица 2.9

**Химический состав сырьевых материалов**

Материал	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ППП
Кварцевый песок	98,2	0,30	0,70	0,25	0,35	–	–	–	0,2
Полевой шпат	65,04	20,04	0,24	0,8	0,18	3,74	9,38	–	0,21
Сода кальцинированная	–	–	–	0,22	0,35	60,75	–	–	38,68
Борная кислота	–	–	–	–	–	–	–	55,0	45,0
Оксид железа	–	–	≈100	–	–	–	–	–	–
Глина	61,78	20,3	6,4	1,10	1,69	0,82	0,95	–	6,94

Чтобы узнать состав глазури, необходимо химический состав каждого компонента сырья умножить на процентное содержание данного компонента в шихте (табл. 2.10).

Таблица 2.10

**Количество оксидов, вводимое в шихту глазури с сырьем**

Материал	Шихтовый состав, мас. %	Содержание оксидов, мас. %								
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ППП
Кварцевый песок	36,1	35,45	0,10	0,25	0,09	0,12	–	–	–	0,07
Полевой шпат	5,2	3,38	1,06	0,12	0,04	0,01	0,19	0,48	–	0,01
Сода кальцинированная	21,3	–	–	–	0,04	0,07	12,94	–	–	8,23
Борная кислота	21,8	–	–	–	–	–	–	–	11,99	9,81
Оксид железа	9,4	–	–	9,4	–	–	–	–	–	–
Глина	6,2	3,83	1,26	0,39	0,07	0,10	0,05	0,06	–	0,48
<i>Итого</i>	100	42,66	2,42	10,16	0,24	0,30	13,18	0,54	11,99	18,56

В пересчете на химический состав фритты (ППП не учитывается) получаем, мас. %:

$$\text{SiO}_2 = 52,38 / 60,3 = 0,868 \text{ моля};$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,97 / 102,2 = 0,029 \text{ моля};$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 12,47 / 159,7 = 0,078 \text{ моля};$$

$$\text{CaO} = 0,29 / 56,1 = 0,005 \text{ моля};$$

$$\text{MgO} = 0,37 / 40,3 = 0,009 \text{ моля};$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 16,18 / 62,0 = 0,260 \text{ моля};$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,66 / 94,2 = 0,007 \text{ моля};$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 14,99 / 69,6 = 0,215 \text{ моля}.$$

Определяем сумму молей основных оксидов:  $(\text{R}_2\text{O} + \text{RO}) = (0,005 + 0,009 + 0,260 + 0,007) = 0,281$ ; приняв ее за единицу, делим на количество молей каждого оксида – получим следующий брутто-состав глазури:

$$\text{Na}_2\text{O} = 0,260 / 0,281 = 0,9252;$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,007 / 0,281 = 0,0249;$$

$$\text{CaO} = 0,005 / 0,281 = 0,0177;$$

$$\text{MgO} = 0,009 / 0,281 = 0,0320;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,029 / 0,281 = 0,1032;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,078 / 0,281 = 0,2775;$$

$$\text{SiO}_2 = 0,868 / 0,281 = 3,08;$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 0,215 / 281 = 0,7651;$$

$$\left. \begin{array}{l} 0,9252 \text{ Na}_2\text{O} \\ 0,0249 \text{ K}_2\text{O} \\ 0,0177 \text{ CaO} \\ 0,0320 \text{ MgO} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} 0,1032 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 0,2775 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} 3,08 \text{ SiO}_2 \\ 0,7651 \text{ B}_2\text{O}_3 \end{array} \right\}$$

**Расчет состава шихты по формуле Зегера.** Брутто-состав глазури имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{l} 0,1 \text{ K}_2\text{O} \\ 0,65 \text{ Na}_2\text{O} \\ 0,125 \text{ CaO} \\ 0,125 \text{ MgO} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} 1,75 \text{ SiO}_2 \\ 0,05 \text{ Al}_2\text{O}_3 \end{array} \right\} 0,35 \text{ B}_2\text{O}_3$$

Имея брутто-состав глазури, определяем по нему рецепт шихты глазури в соответствующих количествах сырьевых материалов.

Для этого умножаем каждую составную часть на ее молярную массу и находим массовые части каждого оксида:

$$K_2O = 0,1 \cdot 94,2 = 9,42 \text{ мас. ч.} = 4,8 \text{ мас. \%};$$

$$Na_2O = 0,65 \cdot 62 = 40,3 \text{ мас. ч.} = 20,5 \text{ мас. \%};$$

$$CaO = 0,125 \cdot 56,1 = 7,013 \text{ мас. ч.} = 3,56 \text{ мас. \%};$$

$$MgO = 0,125 \cdot 40,3 = 5,038 \text{ мас. ч.} = 2,56 \text{ мас. \%};$$

$$Al_2O_3 = 0,05 \cdot 102,2 = 5,11 \text{ мас. ч.} = 2,60 \text{ мас. \%};$$

$$SiO_2 = 0,75 \cdot 60,3 = 105,325 \text{ мас. ч.} = 53,56 \text{ мас. \%};$$

$$B_2O_3 = 0,35 \cdot 69,8 = 24,43 \text{ мас. ч.} = 12,42 \text{ мас. \%};$$

---


$$\text{Итого:} \quad 196,636 \text{ мас. ч.} = 100 \text{ мас. \%}.$$

Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 2.11.

Таблица 2.11

**Химический состав сырья**

Материал	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ППП
Сода кальцинированная	–	–	–	0,22	0,35	60,75	–	–	38,68
Поташ	–	–	–	–	–	–	67,2	–	32,8
Каолин обогащенный	47,0	38,0	1,0	–	–	1,5	1,0	–	12,5
Кварц	99,5	–	–	–	0,3	–	–	–	0,2
Борная кислота	–	–	–	–	–	–	–	55,0	45,0
Мел обогащенный	0,3	0,68	0,16	54,7	0,61	–	–	–	43,55
Магnezия жженая техническая	–	–	–	–	98,6	–	–	–	1,4

Расчет обычно начинают с материала, содержащего несколько оксидов, один из которых определяющий. Такими материалами являются каолин, мел.

Для введения 2,6 мас. ч. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> требуется каолина обогащенного

$$\frac{2,6 \cdot 100}{38,0} = 6,84 \text{ мас. ч.}$$

С каолином обогащенным будет введено:

$$\text{SiO}_2: \frac{6,84 \cdot 47,0}{100} = 3,21 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{Na}_2\text{O}: \frac{6,84 \cdot 1,5}{100} = 0,10 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{K}_2\text{O}: \frac{6,84 \cdot 1,0}{100} = 0,07 \text{ мас. ч.}$$

Для введения оставшегося количества  $\text{Na}_2\text{O} = 20,5 - 0,10 = 20,4$  мас. ч. требуется соды кальцинированной

$$\frac{20,4 \cdot 100}{60,75} = 33,58 \text{ мас. ч.}$$

С содой кальцинированной будет введено:

$$\text{CaO}: \frac{33,58 \cdot 0,22}{100} = 0,07 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{MgO}: \frac{33,58 \cdot 0,35}{100} = 0,11 \text{ мас. ч.}$$

Для введения оставшегося количества  $\text{K}_2\text{O} = 4,8 - 0,07 = 4,73$  мас. ч. требуется поташа

$$\frac{4,73 \cdot 100}{67,2} = 7,03 \text{ мас. ч.}$$

Для введения оставшегося количества  $\text{CaO} = 3,56 - 0,07 = 3,49$  мас. % требуется мела обогащенного

$$\frac{3,49 \cdot 100}{54,7} = 6,38 \text{ мас. ч.}$$

С мелом обогащенным будет введено:

$$\text{SiO}_2: \frac{6,38 \cdot 0,3}{100} = 0,02 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{MgO}: \frac{6,38 \cdot 0,61}{100} = 0,04 \text{ мас. ч.}$$

Для введения оставшегося количества  $\text{SiO}_2 = 53,56 - (0,02 + 3,21) = 50,33$  мас. ч. требуется кварца

$$\frac{50,33 \cdot 100}{99,5} = 50,58 \text{ мас. ч.}$$



С кварцем будет введено MgO

$$\frac{50,58 \cdot 0,3}{100} = 0,15 \text{ мас. ч.}$$

Для введения оставшегося количества MgO = 2,56 – (0,15 + 0,11) = 2,3 мас. ч. требуется технической магнезии

$$\frac{2,3 \cdot 100}{98,6} = 2,33 \text{ мас. ч.}$$

Для введения 12,42 мас. ч. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> требуется борной кислоты

$$\frac{12,42 \cdot 100}{55,0} = 22,58 \text{ мас. ч.}$$

В пересчете на 100% шихтовый состав фритты составит, мас. %: каолин обогащенный – 5,28; сода кальцинированная – 25,97; поташ – 5,43; мел обогащенный – 4,93; кварц – 39,12; магнезия жженая техническая – 1,80; борная кислота – 17,47.

Состав шихты, мас. ч.:

каолин обогащенный	6,84
сода кальцинированная	33,58
поташ	7,03
мел обогащенный	6,38
кварц	50,58
жженая техническая магнезия	2,33
борная кислота	22,58
<i>Итого:</i>	<u>129,32</u>

## 2.8. Расчет состава сырьевых шихт для получения стекла

При расчете состава шихты исходят из заданного химического состава стекла, выраженного в массовых или мольных процентах, а также химического состава сырьевых материалов, применяемых для варки стекла.

При расчете шихты допускают, что стекло образуется только из оксидов, а ангидриты соответствующих кислот и вода в результате термической диссоциации полностью улетучиваются. Допускают также, что летучесть самих оксидов незначительна.

В действительности, при варке стекла разложение углекислых и азотокислых солей происходит достаточно полно; разложение суль-

фатов обычно полностью не завершается, но их количество незначительно, поэтому им пренебрегают. Потери борного ангидрида, фтора и некоторых других материалов более значительны, и их необходимо учитывать при расчетах. В среднем в процессе варки стекла в промышленных стекловаренных печах улетучивается следующее количество оксидов, мас. %:  $B_2O_3$  – 15;  $PbO$  – 1,4;  $ZnO$  – 4;  $K_2O$  – 12;  $Na_2O$  – 3,2 и  $F_2$  – 30.

Обычно шихту рассчитывают на 100 мас. ч. песка или на 100 мас. ч. стекломассы. Второй метод предпочтителен, так как дает более ясное представление о составе стекла, а в условиях производства значительно упрощает калькуляцию себестоимости готовой стекломассы.

Пример. Расчет шихты для варки листового оконного стекла.

Необходимо рассчитать шихту для варки стекла следующего химического состава, мас. %:  $SiO_2$  – 71,0;  $Al_2O_3$  – 1,5;  $CaO$  – 8,5;  $MgO$  – 3,5;  $Na_2O$  – 15,5. Химический состав сырьевых материалов, используемых для введения в состав шихты этих оксидов, приведен в табл. 2.12.

Таблица 2.12

**Химический состав сырьевых материалов**

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, мас. %						
	$SiO_2$	$Na_2O$	$CaO$	$MgO$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	ППП
Песок	98,95	–	0,56	–	0,64	0,13	0,11
Сода	–	57,20	–	–	–	–	42,8
Мел	1,47	–	53,9	–	–	0,60	43,9
Доломит	3,20	–	27,06	19,62	2,57	0,53	47,77
Технический глинозем	0,40	–	0,35	–	97,90	0,05	1,29

Чтобы определить необходимое количество каждого материала в составе шихты, составляют расчетные уравнения. Количество таких уравнений равно числу оксидов, содержащихся в стекле.

Составляем уравнение для определения содержания в стекле  $SiO_2$ . Для этого обозначим:

количество песка –  $x$ ;

количество доломита –  $y$ ;

количество технического глинозема –  $z$ ;

количество соды –  $t$ ;

количество мела –  $g$ .

SiO<sub>2</sub> вводят в стекло с помощью песка, при этом на 100 мас. ч. стекломассы с песком будет введено 0,9895x SiO<sub>2</sub>. Кроме того, SiO<sub>2</sub> будет введен в шихту с мелом (0,0147g), с доломитом (0,032y) и с техническим глиноземом (0,004z).

В 100 мас. ч. стекломассы должно быть 71 мас. ч. SiO<sub>2</sub>, поэтому для SiO<sub>2</sub> уравнение имеет следующий вид:

$$71 = 0,9895x + 0,0147g + 0,032y + 0,004z.$$

Таким образом составляем уравнения и для других оксидов, входящих в состав стекла:

– для CaO:

$$8,5 = 0,539g + 0,2706y + 0,0056x + 0,0035z;$$

– для Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:

$$1,5 = 0,979z + 0,0257y + 0,0064x;$$

– для MgO:

$$3,5 = 0,1962y;$$

– для Na<sub>2</sub>O:

$$15,5 = 0,572t.$$

Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не задается, поэтому для оксида железа уравнение не составляется.

Решая уравнения, находим значения неизвестных:

$$x = 71,09; y = 17,84; z = 0,60; g = 6,08; t = 27,10.$$

В процессе варки улетучивается 3,2% соды, поэтому количество ее нужно соответственно увеличить:

$$27,1 \cdot 1,032 = 27,97 \text{ мас. ч.}$$

Таким образом, в состав шихты на 100 мас. ч. стекломассы необходимо ввести, мас. ч.:

песка	71,09
доломита	17,84
технического глинозема	0,60
соды	27,97
<u>мела</u>	<u>6,08</u>
<i>Итого</i>	123,58

Определим количество оксидов, вводимых в стекломассу:

– с песком:

$$\text{SiO}_2 = \frac{71,09 \cdot 98,95}{100} = 70,34\%;$$

$$\text{CaO} = \frac{71,09 \cdot 0,58}{100} = 0,41\%;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{71,09 \cdot 0,64}{100} = 0,46\%;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{71,09 \cdot 0,13}{100} = 0,092\%;$$

– с ДОЛОМИТОМ:

$$\text{SiO}_2 = \frac{17,84 \cdot 3,2}{100} = 0,57\%;$$

$$\text{CaO} = \frac{17,84 \cdot 27,06}{100} = 4,83\%;$$

$$\text{MgO} = \frac{17,84 \cdot 19,62}{100} = 3,50\%;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{17,84 \cdot 2,57}{100} = 0,46\%;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{17,84 \cdot 0,53}{100} = 0,095\%;$$

– с ТЕХНИЧЕСКИМ ГЛИНОЗЕМОМ:

$$\text{SiO}_2 = \frac{0,60 \cdot 0,40}{100} = 0,002\%;$$

$$\text{CaO} = \frac{0,60 \cdot 0,35}{100} = 0,002\%;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{0,60 \cdot 97,9}{100} = 0,59\%;$$

– с содой:

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{27,97 \cdot 57,2}{100} = 15,50\%;$$

– с мелом:

$$\text{SiO}_2 = \frac{6,08 \cdot 1,47}{100} = 0,09\%;$$

$$\text{CaO} = \frac{6,08 \cdot 53,9}{100} = 3,28\%;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{6,08 \cdot 0,6}{100} = 0,036\%.$$

Окончательные составы шихты и стекла, полученные по расчету, сведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Расчетные составы шихты и стекла**

Сырьевые материалы	Количество материала на 100 мас. ч. стекломассы, мас. ч.	Содержание оксидов, мас. %						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего
Песок	71,09	70,34	0,46	0,41	–	–	0,092	–
Доломит	17,84	0,57	0,46	4,83	3,50	–	0,096	–
Технический глинозем	0,60	0,002	0,59	0,002	–	–	–	–
Сода	27,97	–	–	–	–	15,50	–	–
Мел	6,08	0,09	–	3,28	–	–	0,036	–
<i>Всего</i>	123,58	71,00	1,50	8,51	3,50	15,50	0,21	100,22 *
Состав стекла, приведенный к 100%	–	70,86	1,50	8,49	3,49	15,45	0,21	100,0
Заданный состав стекла	–	71,00	1,50	8,50	3,50	15,50	–	100,0
Отклонение в содержании оксидов	–	0,14	0,0	0,01	0,01	0,05	–	–

\* Для приведения состава стекла к 100% находят пересчетный коэффициент, равный:  $100,22 / 100 = 1,0022$ , на который делят суммарное содержание отдельных оксидов во всех сырьевых материалах.

Количество полученного стекла определяют из соотношения

$$\begin{aligned} 123,58 \text{ мас. ч. шихты} &= 100 \text{ мас. ч. стекла,} \\ 100 \text{ мас. ч. шихты} &= x \text{ мас. ч. стекла,} \end{aligned}$$

$$x = \frac{100 \cdot 100}{123,58} = 80,91\%.$$

Потери при прокаливании в процессе стеклообразования составляют

$$100 - 80,91 = 19,09\%.$$

Состав стекла на 100 мас. ч. песка пересчитывают следующим образом:

– необходимое количество доломита:

71,09 мас. ч. песка – 17,84 мас. ч. доломита,

100 мас. ч. песка –  $x$  мас. ч. доломита,

$$x = 25,09.$$

Таким же образом пересчитывают количество остальных материалов, мас. ч.:

песок	100,00
доломит	25,09
глинозем	0,49
сода	39,34
мел	8,57

При расчетах состав стекла часто выражают в мольных процентах. Ниже приведен пример пересчета состава стекла от массовых процентов к мольным и наоборот. Допустим, что необходимо определить состав стекла в мольных процентах, который имеет состав, выраженный в массовых процентах:  $\text{SiO}_2 - 67,5$ ;  $\text{B}_2\text{O}_3 - 20,3$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,5$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 8,7$ .

Содержание оксидов в мольных процентах пересчитывают по формуле

$$m = \frac{M}{M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n} 100\%,$$

где  $m$  – содержание данного оксида в стекле в мольных процентах;  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , ...,  $M_n$  – число молей каждого оксида в стекле.

Число молей каждого оксида равно

$$M_1 = \frac{n_1}{b_1},$$

где  $n_1$  – содержание данного оксида в стекле, мас. %;  $b_1$  – молярная масса оксида.

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{\frac{67,2}{60,06} \cdot 100\%}{\frac{67,5}{60,06} + \frac{20,3}{69,69} + \frac{8,7}{62,0} + \frac{3,5}{101,94}} = \frac{1,12 \cdot 100\%}{1,12 + 0,29 + 0,14 + 0,03} =$$

$$= 70,85\%;$$

$$m_{\text{B}_2\text{O}_3} = \frac{0,29 \cdot 100\%}{1,58} = 18,35\%;$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{0,03 \cdot 100\%}{1,58} = 1,95\%;$$

$$m_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0,14 \cdot 100}{1,58} = 8,85\%.$$

Для пересчета состава стекла, выраженного в мольных процентах, на массовые можно пользоваться формулой

$$n = \frac{N}{N_1 + N_2 + \dots + N} \cdot 100\%.$$

Количество массовых частей каждого оксида в стекле

$$N_1 = m_1 b_1.$$

Таким образом, количество  $\text{SiO}_2$  в стекле, выраженное в массовых процентах, составляет

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{70,85 \cdot 100\%}{70,85 \cdot 60,06 + 18,35 \cdot 69,69 + 8,85 \cdot 62,0 + 19,5 \cdot 101,94} \cdot 100\% =$$

$$= 67,5\%.$$

## 2.9. Расчет минералогического состава клинкера

Минералогический состав клинкера рассчитывается по данным химического состава и значениям коэффициента насыщения и модулей. Содержание силикатов кальция определяется по следующим формулам (в процентах):

$$C_3S = 4,07(\text{CaO}_{\text{общ}} - \text{CaO}_{\text{св}} - 0,7\text{SO}_3) -$$

$$- [7,6(\text{SiO}_{2\text{общ}} - \text{SiO}_{2\text{св}}) + 6,72\text{Al}_2\text{O}_3 + 1,42\text{Fe}_2\text{O}_3];$$

$$C_2S = 8,6(SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{св}}) + 5,07Al_2O_3 + 1,07Fe_2O_3 - \\ - 3,07(CaO_{\text{общ}} - CaO_{\text{св}} - 0,7SO_3).$$

Расчет содержания минералов-плавней  $C_3A$  и  $C_4AF$  зависит от величины глиноземистого модуля  $p$ , который определяет фазовый состав минералов-плавней. Если глиноземный модуль больше чем 0,64, то кроме  $C_4AF$  образуется  $C_3A$ , а при излишке оксида железа, когда  $p$  меньше чем 0,64, появляется двухкальциевый феррит. Если глиноземный модуль равняется 0,64, то образуется лишь  $C_4AF$ .

В соответствии с этим формулы для расчета минералов-плавней имеют следующий вид:

1. При  $p > 0,64$

$$C_3A = 2,65(Al_2O_3 - 0,64 Fe_2O_3);$$

$$C_4AF = 3,04Fe_2O_3.$$

Коэффициент 2,65 в первой формуле показывает количество  $C_3A$ , которое образуется с каждого процента глинозема; коэффициент 0,64 выражает в процентах по массе соотношение  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  в  $C_4AF$ , т. е. показывает, сколько процентов  $Al_2O_3$  связывает 1%  $Fe_2O_3$  при образовании  $C_4AF$ . Коэффициент 3,04 во второй формуле показывает количество  $C_4AF$ , образующееся с каждого процента  $Fe_2O_3$ , который присутствует в клинкере.

2. При  $p < 0,64$

$$C_4AF = 4,77Al_2O_3;$$

$$C_2F = 1,7(Fe_2O_3 - 1,57 Al_2O_3).$$

Коэффициенты 4,77 и 1,7 показывают, что каждый процент  $Al_2O_3$  дает 4,77%  $C_4AF$ , а каждый процент  $Fe_2O_3$  дает 1,7%  $C_2F$ .

В процессе образования клинкера сначала появляется  $C_4AF$  (до полного связывания  $Al_2O_3$ ), а потом из излишка  $Fe_2O_3$  образуется  $C_2F$ . Поэтому коэффициент 1,57 означает, что каждый процент  $Al_2O_3$  связывает 1,57%  $Fe_2O_3$  при образовании  $C_4AF$ . Разница в скобках показывает, каким образом количество  $Fe_2O_3$ , которое осталось после образования  $C_4AF$ , принимает участие в образовании  $C_2F$ .

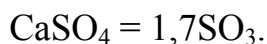
3. При  $p = 0,64$ , когда весь глинозем и оксид железа связаны только в виде  $C_4AF$ , содержание остального определяется по формуле

$$C_4AF = 3,04Fe_2O_3.$$



Для правильной оценки качества клинкера важно также знать содержание в нем сернокислого кальция  $\text{CaSO}_4$ . Это необходимо, например, для определения границы добавки гипса, вводимого при помоле клинкера.

Исходя из молекулярных масс  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{SO}_3$  следует, что каждый процент  $\text{SO}_3$ , который содержится в клинкере, дает 1,7%  $\text{SO}_3$ . Формула для определения  $\text{CaSO}_4$  имеет такой вид:



Химический состав исходных компонентов для расчета сырьевой смеси представлен в табл. 2.14.

Таблица 2.14

**Химический состав сырьевых компонентов для расчета сырьевой смеси**

Наименование сырьевого компонента	Химический состав, мас. %						
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	ППП
Глина Акмянского цементного завода	47,45	12,87	7,05	9,80	3,54	0,25	15,33
Мергель Амвросиевского цементного завода	15,91	3,03	1,48	43,26	0,75	0,40	34,91
Глина Криворожского цементного завода	45,83	36,63	1,21	1,63	0,54	0,19	13,92
Глина Подольского цементного завода	73,90	9,86	5,29	2,02	1,53	0,59	5,75
Глина Рыбинского цементного завода	64,88	11,81	4,24	5,94	1,75	0,09	7,61
Глина месторождения «Даниловцы»	61,3	9,48	4,87	10,25	1,98	0,43	11,39
Глина месторождения «Погораны»	45,92	15,55	6,71	11,36	2,62	0,33	14,91
Мел месторождения «Колядичи»	1,38	0,22	0,20	55,13	0,20	0,23	42,60
Известняк Акмянского цементного завода	2,99	0,46	0,82	51,54	1,57	0,42	41,74
Известняк Криворожского цементного завода	8,46	2,56	1,31	47,00	0,83	0,27	38,93
Известняк Рыбинского цементного завода	1,42	0,15	0,25	54,13	0,64	0,12	43,42
Мел Серебряковского цементного завода	1,74	0,65	0,30	54,47	0,37	–	42,49
Пиритные огарки	12,21	2,92	76,29	1,36	0,50	2,33	–
Колчеданные огарки	16,62	6,06	68,36	0,93	0,98	7,74	–

## 2.10. Расчет состава бетона на плотных заполнителях

Требуется рассчитать состав тяжелого бетона М400 при  $R_6 = 40$  МПа для получения сборных ребристых плит перекрытий пролетом 12 м и определить расход материалов на замес бетоносмесителя с вместимостью барабана 1200 л.

Исходные данные:

1) подвижность бетонной смеси для ребристых плит равна  $\Pi = 1-4$  см (принимается по табл. 4.2 кн.: Попов, Л. Н. Основы технологического проектирования заводов ЖБИ. М.: Высшая школа, 1986. 382 с.);

2) активность портландцемента  $R_{ц} = 52$  МПа;

3) насыпная плотность цемента  $\rho_{н.ц} = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;

4) насыпная плотность песка  $\rho_{н.п} = 1550$  кг/м<sup>3</sup>;

5) насыпная плотность щебня  $\rho_{н.щ} = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;

6) истинная плотность цемента  $\rho_{ц} = 3000$  кг/м<sup>3</sup>;

7) истинная плотность песка  $\rho_{п} = 2630$  кг/м<sup>3</sup>;

8) истинная плотность щебня  $\rho_{щ} = 2650$  кг/м<sup>3</sup>;

9) наибольшая крупность зерен щебня = 40 мм;

10) влажность кварцевого песка  $W_{п} = 4\%$ ;

11) влажность щебня  $W_{щ} = 2\%$ .

Водоцентное отношение (В / Ц) вычисляем по формуле

$$В / Ц = \frac{AR_{ц}}{(R_6 + 0,5AR_{ц})},$$

где  $R_{ц}$  – активность цемента, МПа;  $R_6$  – марка бетона, МПа;  $A$  – коэффициент, учитывающий количество заполнителя (для высококачественного заполнителя равен 0,65, рядового – 0,6, пониженного качества – 0,55). Принимаем  $A = 0,65$ .

$$В / Ц = \frac{0,65 \cdot 530}{(400 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 530)} = \frac{344,5}{(400 + 172,25)} = 0,60.$$

Расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси определяем по табл. 2.15 в соответствии с подвижностью смеси  $\Pi_1 = 1-4$  см и наибольшей крупностью заполнителя 40 мм.

Таблица 2.15

**Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси  
на плотных заполнителях**

Показатель смеси	Жесткость по ГОСТ 10181.1–81	Подвижность, см	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности, мм							
			гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж <sub>0</sub>	31	–	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж <sub>1</sub>	30–21	–	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж <sub>2</sub>	20–11	–	165	150	135	130	175	165	150	155
Ж <sub>3</sub>	10–5	–	175	160	145	140	185	175	160	155
П <sub>1</sub>	–	1–4	190	175	160	155	200	190	175	170
П <sub>2</sub>	–	5–9	200	185	170	165	210	200	185	180
П <sub>3</sub>	–	10–15	215	205	190	180	225	215	200	190
П <sub>4</sub>	–	16 и более	225	220	205	195	235	230	215	205

Исходя из данных таблицы расход воды для бетонной смеси составит 175 кг.

Расход цемента

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} = \frac{175}{0,6} = 291 \text{ кг.}$$

Расход щебня в сухом состоянии на 1 м<sup>3</sup> бетона

$$Щ = \frac{1}{\frac{\alpha V_{п.щ}}{\rho_{н.щ}} + \frac{1}{\rho_{щ}}},$$

где  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен (выбирается по табл. 2.16);  $V$  – пустотность щебня;  $\rho_{н.щ}$  – насыпная плотность щебня;  $\rho_{щ}$  – истинная плотность щебня.

Таблица 2.16

**Значение коэффициентов раздвижки зерен ( $\alpha$ )  
для подвижных бетонных смесей**

Расход цемента, кг/м	Коэффициенты $\alpha$ при В / Ц, равном					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,3	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,40	1,46	–	–	–
500	1,44	1,52	1,56	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

Таким образом, коэффициент раздвижки зерен  $\alpha = 1,35$ .  
 Определяем пустотность щебня:

$$V_{п.щ} = 1 - \frac{\rho_{н.щ}}{\rho_{щ}} = 1 - \frac{1600}{2650} \approx 0,4$$

и его расход:

$$\begin{aligned} Щ &= \frac{1}{\left[ 1,35 \cdot \frac{0,4}{1600} + \frac{1}{2650} \right]} = \\ &= \frac{1}{0,000\ 337\ 5 + 0,000\ 377} = \frac{1}{0,000\ 714\ 5} = 1400 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Расход песка в сухом состоянии на  $1 \text{ м}^3$  бетона

$$\begin{aligned} П &= \left[ 1 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{1000} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \right] \rho_{п} = \left[ 1 - \left( \frac{291}{3000} + \frac{175}{1000} + \frac{1400}{2650} \right) \right] 2630 = \\ &= [1 - (0,097 + 0,175 + 0,528)] 2630 = 526 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Состав бетона вычисляем, учитывая влажность песка (4%) и щебня (2%). Расход заполнителей на  $1 \text{ м}^3$  с учетом влажности:

$$П = \frac{526}{100 - 4} 100 = 548 \text{ кг;}$$

$$В_{п} = 548 - 526 = 22 \text{ кг;}$$

$$Щ = \frac{1400}{100 - 2} 100 = 1428 \text{ кг;}$$

$$В_{щ} = 1428 - 1400 = 28 \text{ кг.}$$

Расход воды в бетонной смеси уменьшаем:

$$В = 172 - 22 - 28 = 125 \text{ кг.}$$

Для получения производственного состава бетона в соотношениях по массе расход каждого компонента бетонной смеси делим на расход цемента:

$$\begin{aligned} (Ц / Ц) : (П / Ц) : (Щ / Ц) &= (291 / 291) : (548 / 291) : (1428 / 291) = \\ &= 1 : 1,88 : 4,9 \end{aligned}$$

при водоцементном отношении  $(В / Ц) = 125 / 291 = 0,43$ .

Для определения дозировки составляющих материалов бетонной смеси на замес бетоносмесителя определим коэффициент выхода бетона:

$$B = 1(\text{Ц} / \rho_{\text{н.ц}} + \text{П} / \rho_{\text{н.п}} + \text{Щ}_{\text{н.щ}}) = 1(291 / 1100 + 548 / 1550 + 1428 / 1600) = 0,66.$$

Расход материалов, кг, на один замес бетоносмесителя с полезной емкостью барабана  $1,2 \text{ м}^3$  (1200 л) определим по формулам

$$\text{Ц}_з = \text{Ц} \cdot V \cdot \beta / 1000 = 291 \cdot 1200 \cdot 0,66 / 1000 = 230;$$

$$\text{В}_з = \text{В} \cdot V \cdot \beta / 1000 = 175 \cdot 1200 \cdot 0,66 / 1000 = 138;$$

$$\text{П}_з = \text{П} \cdot V \cdot \beta / 1000 = 548 \cdot 1200 \cdot 0,66 / 1000 = 434;$$

$$\text{Щ}_з = \text{Щ} \cdot V \cdot \beta / 1000 = 1428 \cdot 1200 \cdot 0,66 / 1000 = 1131.$$

## 2.11. Расчет состава ячеистого бетона

Расход минеральных составляющих бетонной смеси и воды, кг, на  $1 \text{ м}^3$  определяют по следующим формулам:

$$\text{– вяжущего: } P_{\text{вяж}} = \frac{\rho_{\text{сух}}}{K_c(1+C)} V;$$

$$\text{– извести: } P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} n;$$

$$\text{– цемента: } P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} - P_{\text{и}};$$

$$\text{– кремнеземистого компонента: } P_{\text{к}} = P_{\text{вяж}} C;$$

$$\text{– гипса молотого двухводного: } P_{\text{г}} = P_{\text{и}} 0,03;$$

$$\text{– воды: } B = (P_{\text{вяж}} + P_{\text{к}}) B/T,$$

где  $\rho_{\text{сух}}$  – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $K_c$  – коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего (для пенобетона он равен 1,05, для газобетона – 1,1–1,15);  $C$  – число частей кремнеземистого компонента по отношению к одной части вяжущего (выбирают по табл. 2.17);  $V$  – объем замеса,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – доля извести в вяжущем;  $B/T$  – водотвердое отношение.

Значение пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданной средней плотности, рассчитывают по формуле

$$\Pi_r = 1 - \frac{\rho_{\text{сух}}}{K_c} (W + B / T),$$

где  $W$  – удельный объем сухой смеси, л/кг.

Таблица 2.17

**Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему по массе  
в ячеистобетонной смеси**

Вяжущее	Автоклавный бетон	Безавтоклавный бетон на золе-уносе
Цементное и цементно-известковое	0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2	0,75; 1; 1,25
Известковое	3; 3,5; 4; 4,5; 5,5	–
Известково-белитовое	1; 1,25; 1,5; 2	–
Известково-шлаковое	0,6; 0,8; 1	0,6; 0,8; 1
Высокоосновное зольное	0,1; 0,15; 0,20	–

Значение  $W$  принимают по табл. 2.18.

Таблица 2.18

**Удельный объем сухой смеси**

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества							
	Портланд-цемент		Смешанное вяжущее (Ц : И = 1 : 1)		Известь		Известково-шлаковый цемент	
	$C$	$W$	$C$	$W$	$C$	$W$	$C$	$W$
Песок ( $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$ )	1	0,34	1,5	0,36	3	0,38	1	0,32
Зола ( $\rho = 2,36 \text{ г/см}^3$ )	1	0,38	1,5	0,40	3	0,40	1	0,36
Легкая зола ( $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$ )	1	0,44	1,5	0,48	3	0,48	1	0,42

В ячеистобетонной смеси количество порообразователя (пено- или газообразователя) теоретически должно быть таким, чтобы объем выделенного газа или введенной пены соответствовал пористости, найденной по формуле. В действительности порообразователь не полностью используется на создание пор в растворе, поэтому расход его принимают больше, чем теоретическое значение.

Расход порообразователя определяют по формуле

$$P_{\text{п}} = 1 - \frac{\Pi_r}{K\alpha} V,$$

где  $K$  – выход пор (количество газа или объем пены, получаемый из 1 г порообразователя), л/г (при использовании пенообразователя принимают  $K = 0,018–0,020$  л/г, при использовании алюминиевой пудры  $K = 1,39$  л/г);  $\alpha$  – коэффициент использования порообразователя (принимается 0,85).

При проведении опытов на конкретных материалах для приготовления пробных замесов можно принимать усредненные расходы материалов по табл. 2.19 и расход алюминиевой пудры по табл. 2.20.

Таблица 2.19

**Усредненный расход материалов для ячеистого бетона**

Вид ячеистого бетона	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Вид вяжущего вещества				
		Известь-кипелка активностью 70%	Цемент	Песок молотый	Зола-унос	Гипс двуводный
Газосиликат	350	72	–	247	–	3
	500	110	–	345	–	5
	600	130	–	415	–	6
	700	142	–	494	–	6
	800	162	–	564	–	7
Газозолосиликат	350	72	–	–	247	3
	500	110	–	–	345	5
	600	130	–	–	415	6
	700	142	–	–	494	6
	800	162	–	–	564	7
На смешанном вяжущем с применением песка	350	36	36	247	–	3
	500	90	90	275	–	4
	600	110	110	325	–	5
	700	130	120	386	–	6
	800	140	140	446	–	7

Таблица 2.20

**Расход алюминиевой пудры в ячеистом бетоне**

Плотность ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>	Усредненный расход пудры, г	Плотность ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>	Усредненный расход пудры, г
350	690	700	360
500	535	800	300
600	470	–	–

Для заполнения форм газобетонной смесью количество смеси обычно рассчитывают по массе или по объему.

Массу газобетонной смеси, которую укладывают в форму, рассчитывают по формуле

$$m_{\text{см}} = 1,1(1 - \Pi_{\Gamma})\rho_{\text{р}}V_{\text{ф}},$$

где  $\rho_{\text{р}}$  – плотность раствора,  $\text{кг/м}^3$ ;  $V_{\text{ф}}$  – объем формы,  $\text{м}^3$ .

Высоту заливки смеси определяют по формуле

$$h = 1,1(1 - \Pi_{\Gamma}).$$

Пример. Требуется рассчитать состав ячеистого бетона со средней плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$  на смешанном цементно-известковом вяжущем. Исходные материалы: портландцемент марки 500, молотая известь-кипелка активностью 70%, порообразователь – алюминиевая пудра, поверхностно-активное вещество – мылонафт, замедлитель скорости гидратации извести-кипелки – молотый двуводный гипс.

Произведем расчет расхода материалов и сведем результаты в табл. 2.21:

а) вяжущего:

$$P_{\text{вяж}} = \frac{\rho_{\text{сух}}}{K_{\text{с}}(1 + C)} V,$$

где  $\rho_{\text{сух}}$  – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии,  $\text{кг/м}^3$ ;  $K_{\text{с}}$  – коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего (для пенобетона он равен 1,05, для газобетона – 1,1–1,15);  $C$  – число частей кремнеземистого каолинита по отношению к одной части вяжущего;  $V$  – объем замеса,  $\text{м}^3$ .

$$P_{\text{вяж}} = \frac{0,5}{1,1(1 + 1,5)} 1000 = 182;$$

б) извести:

$$P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} n,$$

где  $n$  – доля извести в вяжущем.

$$P_{\text{и}} = 182 \cdot 0,5 = 91;$$



в) цемента:

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} - P_{\text{и}},$$

$$P_{\text{ц}} = 182 - 91 = 91;$$

г) песка:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{вяж}} C,$$

$$P_{\text{п}} = 182 \cdot 1,5 = 273;$$

д) гипса молотого двухводного:

$$P_{\text{г}} = P_{\text{и}} 0,03,$$

$$P_{\text{г}} = 91 \cdot 0,03 = 2,73;$$

е) воды:

$$B = (P_{\text{вяж}} + P_{\text{к}}) B / T,$$

где  $B / T$  – водотвердое отношение (0,43).

$$B = (182 + 273) 0,43 = 196.$$

Определяем пористость:

$$П_{\text{г}} = 1 - \frac{\rho_{\text{сух}}}{K_{\text{с}}} (W + B / T),$$

где  $W$  – удельный объем сухой смеси, л/кг.

$$П_{\text{г}} = 1 - \frac{0,5}{1,1} (0,36 + 0,43) = 0,64.$$

Определяем расход порообразователей (алюминиевой пудры) по формуле

$$P_{\text{ал.п}} = 1 - \frac{П_{\text{г}}}{K\alpha} V,$$

где  $K$  – выход пор, л/г (для алюминиевой пудры  $K = 1,39$  л/г);  $\alpha$  – коэффициент использования порообразователя (принимается 0,85).

$$P_{\text{ал.п}} = \frac{0,64}{1,39 \cdot 0,85} 1000 = 0,54.$$

Таблица 2.21

**Расход материалов для получения 1 м<sup>3</sup> ячеистого бетона**

Материал	Расход материала, кг
Вязущее:	182,00
известь	91,00
цемент	91,00
Песок	273,00
Гипс молотый двухводный	2,73
Вода	196,00
Порообразователи:	0,57
алюминиевая пудра	0,54
ПАВ	0,03

**Задачи для самостоятельного решения**

1. Рассчитать сырьевую смесь и минералогический состав портландцементного клинкера, если  $KH = 0,87$ . Химический состав сырьевых компонентов, мас. %: известняк:  $SiO_2 - 2,5$ ;  $Al_2O_3 - 0,75$ ;  $Fe_2O_3 - 0,50$ ;  $CaO - 52,25$ ;  $MgO - 0,70$ ;  $SO_3 - 0,20$ ; ППП – 42,9; глина:  $SiO_2 - 64,0$ ;  $Al_2O_3 - 15,8$ ;  $Fe_2O_3 - 8,5$ ;  $CaO - 1,5$ ;  $MgO - 1,5$ ;  $SO_3 - 0,5$ ; ППП – 7,2.

2. Рассчитать, в какой пропорции (по массе) должны быть смешаны глина и известняк для получения портландцементного клинкера с  $KH = 0,8$ . Проверить, соответствует ли полученный состав сырьевой смеси пределам, установленным для силикатного и глиноземного модулей. Сырьевые компоненты имеют химический состав, представленный в табл. 2.22.

Таблица 2.22

**Химический состав компонентов**

Материал	Содержание оксида, мас. %			
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$
Известняк	43,87	39,63	0,47	1,51
Глина	60,38	21,96	3,47	1,31

Остальное – примеси и ППП.

$$KH = \frac{CaO - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3)}{2,8SiO_2}$$

3. Рассчитать сырьевую смесь и минералогический состав портландцементного клинкера с  $KH = 0,91$ . Химический состав компонентов приведен в табл. 2.23.

Таблица 2.23

**Химический состав компонентов**

Материал	Содержание оксида, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
Известняк	1,28	1,02	0,81	53,89	0,90	0,27	40,9
Глина	60,38	19,12	8,31	2,49	1,8	–	7,62

4. Определить рациональный состав шихты по ее химическому анализу. Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 2.24.

Шихтовый состав исходной массы, мас. %: глина огнеупорная – 32; каолин – 30; пегматит – 11; песок кварцевый – 27.

Таблица 2.24

**Химический состав компонентов**

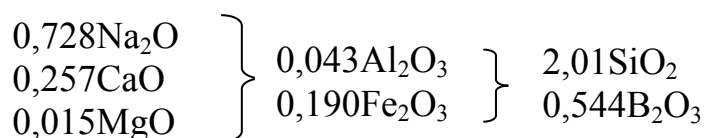
Материал	Содержание оксида, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ППП
Глина огнеупорная	51,42	33,14	0,75	1,24	0,52	0,50	2,70	0,51	9,1
Каолин	47,4	38,3	1,0	–	–	0,4	1,0	1,6	10,3
Пегматит	66,3	18,9	0,3	–	0,9	0,13	9,94	2,54	0,17
Песок кварцевый	99,0	0,1	0,06	–	0,5	–	–	–	0,34

5. Рассчитать сырьевую смесь и минералогический состав портландцементного клинкера с  $KH = 0,92$ ,  $n = 2,1$ . Выбор сырьевых компонентов обосновать. Химический состав сырьевых компонентов для расчета сырьевой смеси представлен в табл. 2.14.

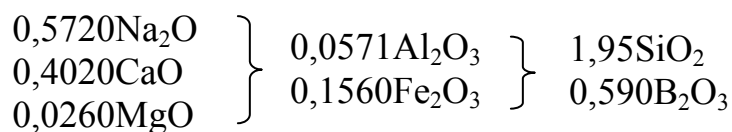
6. Рассчитать четырехкомпонентную сырьевую смесь и минералогический состав портландцементного клинкера с  $KH = 0,90$ ,  $p = 1,5$ ,  $n = 2,0$ . Выбор сырьевых компонентов обосновать. Химический состав сырьевых компонентов для расчета сырьевой смеси представлен в табл. 2.14.

7. Рассчитать брутто-составы следующих глазурей:

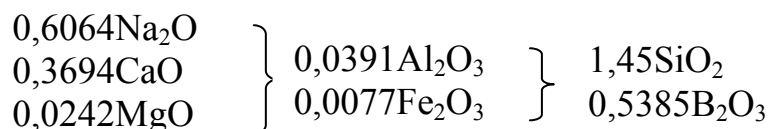
а) борщелочная глазурь с температурой плавления 920–940°C:



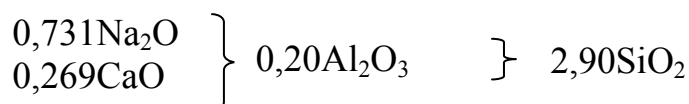
б) борщелочная глазурь с температурой плавления 940–960°C:



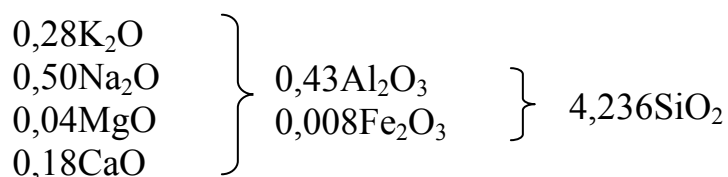
в) борщелочная глазурь с температурой плавления 960–980°C:



г) щелочноизвестковая глазурь с температурой плавления 1040–1080°C:



д) щелочная глазурь с температурой плавления 980–1000°C:



Обосновать и выбрать исходные сырьевые материалы, химический состав которых представлен в табл. 2.25.

Таблица 2.25

**Химический состав сырьевых материалов для синтеза глазури**

Материал	Содержание оксида, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ППП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кварцевый песок	98,54	0,28	0,38	0,25	0,35	–	–	–		0,2
Глина	52,43	32,21	0,63	0,6	0,55	0,63	2,75	–	1,22	9,1
Каолин про-сыновский	47,39	39,7	0,36	–	0,31	–	–	–	–	13,2
Мел	1,01	0,24	–	54,66	0,22	–	–	–	–	43,04

Окончание табл. 2.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сода кальцинированная	–	–	–	0,22	0,35	60,75	–	–	–	38,68
Борная кислота	–	–	–	–	–	–	–	55,0	–	45,0
Оксид железа	–	–	≈100	–	–	–	–	–	–	–
Тальк оного-ский	61,04	0,5	1,2	0,1	30,6	–	–	–	–	41,39
Полевой шпат	65,04	20,04	0,24	0,8	0,18	3,74	9,38	–	–	0,21
Пегматит	71,47	16,73	0,52	0,49	0,25	5,3	4,78	–	–	0,42
Поташ	–	–	–	–	–	–	67,2	–	–	32,8
Магнезия жженая техническая	0,1	–	–	–	98,6	–	–	–	–	1,3
Мел обогащенный	0,3	0,68	0,16	54,7	0,61	–	–	–	–	43,55

8. Рассчитать состав стекольной шихты, обосновав выбор основных и вспомогательных материалов:

а) состав стекла, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 72,1;  $\text{CaO}$  – 8,3;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14,6;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,0;  $\text{MgO}$  – 3,0.

б) состав стекла, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 73,5;  $\text{CaO}$  – 8,6;  $\text{BaO}$  – 1,8;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 11,2;  $\text{K}_2\text{O}$  – 4,9.

в) состав стекла, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 72,0;  $\text{CaO}$  – 9,8;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,0;  $\text{MgO}$  – 3,2.

г) состав стекла, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 65,0;  $\text{CaO}$  – 13,8;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 8,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,2;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 5,3;  $\text{MgO}$  – 3,2.

д) состав стекла, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 60;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 1,0;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,0;  $\text{K}_2\text{O}$  – 10,8;  $\text{PbO}$  – 24,0;  $\text{ZnO}$  – 0,6.

Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 2.26.

Таблица 2.26

**Химический состав сырьевых материалов**

Материал	Содержание оксида, мас. %										
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{BaO}$	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	$\text{ZnO}$	ППП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кварцевый песок	99,3	0,36	0,06	0,1	–	–	–	–	–	–	0,24
Известняк	1,2	0,4	0,2	54,0	0,6	–	–	–	–	–	43,6
Мел	1,6	–	0,6	53,9	–	–	–	–	–	–	43,9

Окончание табл. 2.26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Доломит	3,5	1,6	0,2	29,5	20,5	–	–	–	–	–	44,7
Техниче-ский глино-зем	0,35	98,3	0,05	–	–	–	–	–	–	–	1,3
Барий азо-токислый	–	–	–	–	–	–	–	58,4	–	–	41,6
Свинцовый сурик	–	–	–	–	–	–	–	–	99,0	–	–
Поташ	–	–	–	–	–	1,2	66,0	–	–	–	32,8
Сода каль-цинирован-ная	–	–	–	–	–	58,0	–	–	–	–	42,0
Цинковые белила	–	–	–	–	–	–	–	–	–	98,7	1,3

9. Шихта для получения стекла содержит 60%  $\text{SiO}_2$ , 15%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 10%  $\text{CaCO}_3$ , 5%  $\text{MgCO}_3$ , 10%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . При варке улетучивается 5%  $\text{Na}_2\text{O}$  и 8%  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Определить химический состав полученного стекла.

10. Шихта для получения стекла содержит 650 кг кварцевого песка, 185 кг кальцинированной соды, 105 кг известняка, 150 кг доломита. Песок кварцевый содержит 96%  $\text{SiO}_2$ ; остальное – примеси. Сода на 96% состоит из  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; остальное – примеси. Известняк содержит 97,5%  $\text{CaCO}_3$ , 1,2%  $\text{SiO}_2$ ; остальное – примеси. В составе доломита 80%  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , 8%  $\text{CaCO}_3$ , 5%  $\text{SiO}_2$ ; остальное – примеси. Определить химический состав стекла, мас. %. Улетучиванием компонентов при варке пренебречь.

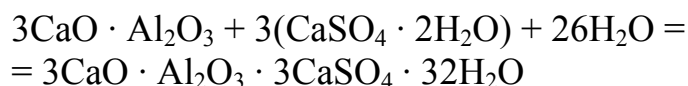
11. Рассчитать массу сырьевой шихты, необходимую для получения 900 кг стекломассы. ППП шихты составляют 13%. При варке улетучивается 3% от массы расплава.

12. Для получения силикат-глыбы состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , используемой для производства жидкого стекла, израсходовали 210 кг кварцевого песка и 100 кг кальцинированной соды. Песок содержит 97%  $\text{SiO}_2$  (остальное – примеси), а сода – 98%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (остальное – примеси). При варке улетучивается 5%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Определить силикатный модуль ( $n$ ). Рассчитать содержание примесей в силикат-глыбе, %.

13. Для получения силикат-глыбы состава  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ , используемой для производства жидкого стекла, израсходовали 200 кг

кварцевого песка и 150 кг поташа. Песок содержит 2% примесей, а поташ – 100% основного вещества. Улетучиванием и составом примесей пренебречь. Определить силикатный модуль ( $n$ ).

14. Рассчитать массу цемента, полученного при помоле портландцементного гипса, если для регулирования сроков схватывания использовали 300 т гипса. Клинкер содержит 5 мас. %  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . С двухводным сульфатом кальция взаимодействует 50%  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . Гипсовый камень содержит 85%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и имеет влажность 3%. Реакция происходит по уравнению



15. Определить ППП сырьевой шихты для варки стекла, если масса шихты составляла 5600 т. Объем полученный стекломассы –  $1900 \text{ м}^3$ , а плотность –  $2500 \text{ кг/м}^3$ . Улетучиванием при варке пренебречь.

16. Для получения шлакоситаллов была использована шихта, включающая 60% доменного шлака, 20% кварцевого песка, 6% глины. Определить содержание  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в 1 т продукта, если в составе шлака 10%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 40%  $\text{CaO}$ , 35%  $\text{SiO}_2$ ; 8%  $\text{MgO}$ . Потери при прокаливании у доменного шлака – 0,5%, а у глины – 11%. Производственными потерями пренебречь.

17. Объем полученной стекломассы –  $3800 \text{ м}^3$ , плотность –  $2450 \text{ кг/м}^3$ . Потери при стеклообразовании составили 16%. Определить массу сырьевой шихты.

18. Масса сырьевой шихты составила 6200 т, потери при стеклообразовании – 13%. Определить объем полученной стекломассы, если ее плотность –  $2600 \text{ кг/м}^3$ .

19. Печь для варки стекла производительностью 300 т в сутки имеет ванну длиной 60 м, шириной 10 м и глубиной 1,5 м. Рассчитать количество листов оконного стекла, которые можно получить за год работы печи, если стандартный размер листа  $1250 \times 700 \times 2 \text{ мм}$ , а плотность –  $2500 \text{ кг/м}^3$ .

20. Рассчитать, в каком соотношении необходимо смешать цемент и гидравлическую добавку, содержащую 50% активного  $\text{SiO}_2$ , если в цементе 20% алита и 60% белита, а известь выделяется по реакциям



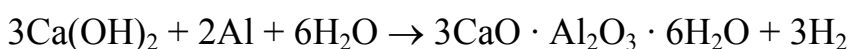
Степень гидратации алита – 0,7, белита – 0,35. При взаимодействии извести с кремнеземом образуется  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

21. Определить приблизительную объемную массу легкого заполнителя, получаемого при обжиге глины. В качестве газообразователя используется уголь – 8% от массы сухой глины. Принять, что при требуемой температуре тепловой обработки объем газа увеличивается в 4 раза. ППП сухой глины – 12%, средняя плотность сухой глины без использования газообразователя –  $1600 \text{ кг/м}^3$ .

22. Рассчитать, сколько кубометров ячеистого бетона можно получить при использовании 10 кг алюминиевой пудры. Коэффициент использования газообразователя – 0,85. Средняя плотность бетона –  $600 \text{ кг/м}^3$ . Истинная плотность гидросиликатного камня –  $2300 \text{ кг/м}^3$ .

23. Для получения  $1000 \text{ м}^3$  керамзитобетона было израсходовано 250 т цемента, 680 т керамзитового гравия, 150 кг перлитового песка и  $336 \text{ м}^3$  воды. Определить плотность получения бетона, если 25% воды испаряется в процессе созревания.

24. При производстве газобетона в качестве газообразователя применяют алюминиевую пудру. В бетонной смеси при этом происходит следующая реакция:



Определить примерную пористость бетонной массы при расходе 270 г алюминия на  $1 \text{ м}^3$  газобетона, если коэффициент использования газообразователя составляет 0,9.

25. При использовании 800 т мелового шлама получили 220 т извести состава, мас. %: CaO – 73; MgO – 4; CaCO<sub>3</sub> – 15; остальное – неразлагающиеся примеси. Определить влажность исходного мелового шлама.

26. В процессе дегидратации гипсового камня за счет гасящейся извести при производстве известково-гипсовой смеси получено 1000 кг смеси, состоящей из 40%  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ; 30,6%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 15% CaO и 14,4% примесей. Определить количество исходных материалов, взятых для получения гипсоизвестковой смеси, и активность извести-кипелки, если все примеси были внесены с последней.

27. Определить массу испарившейся воды при гашении 300 кг извести с активностью 80%. На гашение извести израсходовано 85 л воды.



28. Определить влажность известкового теста, если на гашение 150 кг доломитовой извести израсходовано 125 л воды. Известь содержит 38% MgO, 52% CaO, остальное – примеси. При гашении испаряется 10% воды от массы, необходимой для реакции.

29. Определить количество извести-пушонки, содержащейся в 1 м<sup>3</sup> известкового теста со средней плотностью 1300 кг/м<sup>3</sup>. Истинная плотность извести – 2200 кг/м<sup>3</sup>.

30. Определить истинную плотность извести, если известковое тесто содержит 75% воды и имеет среднюю плотностью 1220 кг/м<sup>3</sup>.

31. Определить содержание воды в известковом тесте, мас. %, если средняя плотность теста – 1250 кг/м<sup>3</sup>, а истинная плотность извести – 2150 кг/м<sup>3</sup>.

32. Определить влажность известкового теста, если на гашение 150 кг доломитовой извести израсходовано 125 л воды. Известь содержит 38% MgO, 52% CaO, остальное – примеси. При гашении испаряется 10% воды от массы, необходимой для реакции.

33. Какое количество необходимо взять карбоната кальция и извести-кипелки с активностью 70% для получения 1 т карбонатной извести активностью 32%.

34. Рассчитать соотношение между известью активностью 70% и молотым песком, содержащим 90% кремнезема, для изготовления известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, исходя из полного связывания кремнезема в низкоактивные гидросиликаты типа CaO · SiO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O.

35. Суммарное содержание оксидов Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в портландцементном клинкере – 8%, а силикатный и глиноземный модули соответственно равны 3 и 1,2. Определить содержание CaO и основной модуль, если суммарное содержание важнейших оксидов составляет 96%.

36. Мергель для производства портландцементного клинкера имеет следующий химический состав (без учета CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O): CaO – 65%; SiO<sub>2</sub> – 18%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6%. Определить модули и установить, какую корректирующую добавку необходимо вводить для получения портландцементного клинкера.

37. Корректирующая добавка имеет следующий химический состав: SiO<sub>2</sub> – 48%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8,5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,1%. Подсчитать, в какой пропорции должны быть взяты добавка и мергель из предыдущей задачи для получения портландцемента с коэффициентом насыщения 0,92.

38. Вычислить содержание  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  в портландцементном клинкере, если по данным химического анализа в нем содержится 4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

39. Количество оксида кальция, оставшегося несвязанным в алюмоферриты, алюминаты кальция и ангидрит, составило 52%. Определить содержание алита и белита, если по данным химического анализа, количество  $\text{SiO}_2$  в портландцементном клинкере было равно 21%.

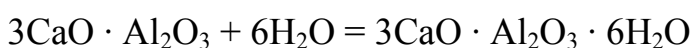
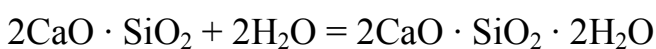
40. Определить минералогический состав портландцемента, если содержание  $\text{CaO}$  – 66%;  $\text{SiO}_2$  – 25%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , – 6%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,2%. Какой портландцемент можно приготовить из такого клинкера?

41. Рассчитать количество свободной извести, выделяемой при гидратации 1 кг цемента, содержащего 56%  $\text{C}_3\text{S}$ , по реакции



Степень гидратации алита – 0,85. Принять, что остальные клинкерные минералы гидратируются без выделения извести.

42. Определить теоретическое количество воды (в килограммах и процентах к массе цемента) для полной гидратации 1 кг цемента, включающего 62%  $\text{C}_3\text{S}$ , 15%  $\text{C}_2\text{S}$  и 5%  $\text{C}_3\text{A}$ . Гидратация происходит по следующим уравнениям:



Остальными гидратационными процессами пренебречь.

43. Определить пористость, %, цементного камня, если водоцементное отношение составило 0,3. Количество химически связанной воды после твердения – 12%. Истинная плотность цементного порошка –  $3,05 \text{ г/см}^3$ .

44. Определить пористость, %, цементного камня, если водоцементное отношение составило 0,35. Количество химически связанной воды после твердения – 16%. Истинная плотность цементного порошка –  $3,1 \text{ г/см}^3$ .

45. Определить количество химически связанной воды после твердения, если пористость цементного камня – 41%, водоцементное отношение – 0,28, а истинная плотность цементного порошка –  $3,15 \text{ г/см}^3$ .

46. Определить истинную плотность извести, если известковое тесто содержит 75% воды и имеет среднюю плотность  $1,22 \text{ г/см}^3$ .

47. Определить количество извести-пушонки, содержащейся в  $1 \text{ м}^3$  известкового теста со средней плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$ . Истинная плотность извести –  $2,2 \text{ г/см}^3$ .

48. Пористость цементного камня составляет 33%. Количество химически связанной воды – 18%. Истинная плотность цементного порошка –  $3,0 \text{ г/см}^3$ . Определить исходное водоцементное отношение.

49. Сравнить пористость затвердевших цементного и цементно-трепельного камней, если для приготовления теста нормальной густоты в первом случае потребовалось 28%, а во втором 40% воды (от массы вяжущего). Количество химически связанной воды было одинаковым и равнялось 12% от массы цементов. Истинную плотность портландцемента и пуццоланового цемента принять соответственно  $3,1$  и  $2,8 \text{ г/см}^3$ . Содержанием вовлеченного воздуха и контракционными парами пренебречь.

50. Химический состав гидравлического вяжущего вещества следующий, мас. %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 45;  $\text{CaO}$  – 46;  $\text{SiO}_2$  – 3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6. Что это за вяжущее? Каковы его основные минералы?

51. Определить полную пористость цементного камня в 28-суточном возрасте, если при затворении В/Ц составляло 0,4, а при перемешивании в тесто вовлекалось 2% воздуха от его объема. Считать, что за время твердения связалось 16% воды от массы цемента, а каждый грамм связанной воды образовывал  $0,2 \text{ см}^3$  контракционных пор. Истинную плотность цемента принять равной  $3,2 \text{ г/см}^3$ .

52. Определить состав бетона М600 при применении портландцемента марки 400, если подвижность бетонной смеси – 3 см, добавка суперпластификатора С-3 – 0,65 массы цемента. Исходные данные портландцемента: активность – 41,5 МПа, насыпная плотность –  $1100 \text{ кг/м}^3$ , истинная плотность –  $3100 \text{ кг/м}^3$ ; песка: насыпная крупность –  $1500 \text{ кг/м}^3$ , истинная плотность –  $2600 \text{ кг/м}^3$ ; щебня: насыпная плотность –  $1480 \text{ кг/м}^3$ , истинная плотность –  $2600 \text{ кг/м}^3$ , наибольшая крупность зерен – 40 мм.

53. Расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетона следующий: цемента – 300 кг, песка – 600 кг, щебня – 1200 кг, воды – 180 л. Определить расход материалов на 1 замес бетономешалки емкостью 1500 л при насыпной плотности материалов: цемента –  $1300 \text{ кг/м}^3$ , песка –  $1500 \text{ кг/м}^3$ , щебня –  $1600 \text{ кг/м}^3$ .

54. Рассчитать среднюю плотность керамзитогазобетона, имеющего пористость 36,5% и истинную плотность  $2,65 \text{ г/см}^3$ .

55. Требуется получить ячеистый бетон со средней плотностью  $550 \text{ кг/м}^3$  на смешанном цементно-известковом вяжущем. Порообразователь – алюминиевая пудра. Замедлитель скорости гидратации извести-кипелки – молотый двуводный гипс. Коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего  $K_c = 1,1$ . Число частей кремнеземистого компонента по отношению к одной части вяжущего  $C = 1,5$ . Рассчитать расход материалов для получения 1 м ячеистого бетона.

56. Были испытаны три кубика из газосиликата разной плотности с размером ребра 10 см каждый. Первый кубик имел массу 691 г и показал предел прочности при сжатии 5,1 МПа, второй кубик – соответственно 300 г и 2,9 МПа, а третий – 218 г и 2,0 МПа. Показать (графически) зависимость предела прочности газосиликата при сжатии от его пористости, принимая истинную плотность газосиликата  $2,75 \text{ г/см}^3$ .

### **3. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

#### **3.1. Нормирование расхода сырьевых материалов в производстве тугоплавких неметаллических и силикатных материалов**

Основной задачей нормирования является применение в производстве технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов (ТНиСМ) и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода сырьевых материалов в целях их рационального использования.

Нормирование расхода материальных ресурсов – это установление меры их производственного потребления.

*Норма расхода* – это максимально допустимое плановое количество сырьевых материалов на производство единицы продукции в конкретных условиях производства.

*Технологические потери* – это потери сырьевых материалов, образуемые в процессе изготовления продукции и обусловленные технологическим уровнем и организацией производства.

*Возвратные потери* – это потери сырьевых материалов, которые возвращаются в технологический процесс изготовления продукции.

*Безвозвратные потери* – это потери сырьевых материалов, не используемые в процессе изготовления продукции.

*Индивидуальная норма* – это норма расхода сырьевых материалов на единицу продукции для конкретного предприятия.

*Групповая норма* – плановое количество материальных ресурсов на один вид изделий, производимых на одном предприятии или группе в целом по отрасли или министерству.

Норма расхода сырьевых материалов на производство ТНиСМ состоит из следующих элементов затрат:

- чистого (полезного) расхода сырьевых материалов, овлеществленных в составе конкретного вида продукции;

- технологических безвозвратных потерь, обусловленных техническими характеристиками оборудования и технологией производства.

Чистый расход учитывает то количество сырьевых материалов, которое вещественно входит в готовую продукцию и составляет ее вес

при соответствии продукции требованиям нормативно-технической документации.

Технологические потери сырьевых материалов процессом производства зависят от особенностей технологии и технического состояния оборудования, свойств сырьевых материалов и изготавливаемой продукции.

Безвозвратные технологические потери в производстве ТНиСМ образуются при приготовлении сырьевых смесей (шихты, пластичной массы, шлама или шликера), высокотемпературной обработке, помоле и т. д.

### 3.2. Определение норм расхода сырья в производстве керамического кирпича

Расчет норм расхода сырьевых материалов выполняется в порядке, обратном движению сырья, полуфабрикатов и изделий в принятой технологической схеме производства.

Расчет ведется в следующем порядке:

1. Определение количества перерабатываемого по сухой массе материала на текущей операции:

$$H_i = H_{i-1} + R_i - S_i,$$

где  $H_{i-1}$  – количество переработанного материала на предыдущей операции, кг (т);  $R_i$  – абсолютная величина потерь материала на текущей операции, кг (т);  $S_i$  – возврат материала в производство, кг (т).

2. Расчет абсолютных потерь на данной операции:

$$R_i = H_{i-1} \frac{P_i}{100 - P_i},$$

где  $P_i$  – пооперационные потери, %.

3. Вычисление возврата материала в производство:

$$S_i = R_i \frac{B_i}{100},$$

где  $B_i$  – возвратные потери, %.

4. Расчет количества перерабатываемого на текущей операции материала с учетом влажности:

$$G_i = H_i \frac{100}{100 - W_i},$$

где  $W_i$  – влажность материала, %.

Пример. Определяется масса продукции, поступающей на склад готовых изделий.

Объем 1000 шт. кирпича керамического составит (размер кирпича  $250 \times 120 \times 65$  мм):

$$V_{1000} = 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,0065 = 1,95 \text{ м}^3.$$

Объемная масса готового кирпича равна  $1800 \text{ кг/м}^3$ . Тогда

$$G_{1000} = 1,95 \cdot 1800 = 3510 \text{ кг}.$$

Шихтовый состав массы следующий, мас. %:

- глина легкоплавкая – 75;
- шлак металлургический – 10;
- гранитные отсеvy – 15.

Потери при прокаливании массы – 7%.

Движение материалов по технологическим переделам и нормативы кооперационных и возвратных потерь в производстве кирпича приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Движение материалов по технологическим переделам  
и нормативы потерь основной массы кирпича**

Технологические переделы	Пооперационные потери $P_i$ , %	Возвратные потери $B_i$ , %	Позиция возврата, $S_i$	Влажность пооперационная
1	2	3	4	5
1. Склад готовой продукции	0,5	90	11	–
2. Сортировка готовой продукции	1,0	95	11	–
3. Обжиг полуфабрикатов изделий	4,5	90	11	–
4. ППП	7,0	–	–	–
5. Сушка	3,5	90	8	2,5
6. Пластическое формование	0,5	95	–	18
7. Вторичная переработка массы	0,5	0	–	18

1	2	3	4	5
8. Вылеживание массы	1,5	0	–	18
9. Смешение и первичная подготовка массы	1,5	0	–	18
10. Склад глины	1,0	0	–	20
11. Склад шлака	0,5	0	–	4,5
12. Склад гранулированных отсевов	0,5	0	–	3,0

Расчет ведется на 1000 шт. условного кирпича.

Поступило на склад готовой продукции 3510 кг.

1. Склад готовой продукции:

$$R_1 = 3510 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 17,6 \text{ кг};$$

$$S_1 = 17,6 \frac{90}{100} = 15,84 \text{ кг (позиция возврата 11)};$$

$$H_1 = 3510 + 17,6 = 3527,6 \text{ кг.}$$

2. Сортировка готовой продукции:

$$R_2 = 3527,6 \frac{1}{100 - 1} = 35,6 \text{ кг};$$

$$S_2 = 35,6 \frac{95}{100} = 34,77 \text{ кг (позиция возврата 11)};$$

$$H_2 = 3527,6 + 35,66 = 3563,2 \text{ кг.}$$

3. Обжиг полуфабрикатов изделий:

$$R_3 = 3563,2 \frac{4,5}{100 - 4,5} = 167,9 \text{ кг};$$

$$S_3 = 167,9 \frac{90}{100} = 151,1 \text{ кг (позиция возврата 11)};$$

$$H_3 = 3563,2 + 167,9 = 3731,1 \text{ кг.}$$

4. Потери при прокаливании:



$$R_4 = 3731,1 \frac{7}{100 - 7} = 280,8 \text{ кг};$$

$$H_4 = 3731,1 + 280,8 = 4011,9 \text{ кг}.$$

5. Сушка:

$$R_5 = 4011,9 \frac{3,5}{100 - 3,5} = 145,5 \text{ кг};$$

$$S_5 = 145,5 \frac{90}{100} = 130,95 \text{ кг (позиция возврата 11)};$$

$$H_5 = 4011,9 + 145,5 = 4288,35 \text{ кг};$$

$$G_5 = 4288,35 \frac{100}{100 - 2,5} = 4398,3 \text{ кг}.$$

6. Пластическое формование:

$$R_6 = 4288,35 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 21,55 \text{ кг};$$

$$S_6 = 21,55 \frac{95}{100} = 20,5 \text{ кг (позиция возврата 7)};$$

$$H_6 = 4288,35 + 21,55 = 4309,9 \text{ кг};$$

$$G_6 = 4309,9 \frac{100}{100 - 18} = 5256,0 \text{ кг}.$$

7. Вторичная переработка массы:

$$R_7 = 4309,9 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 21,65 \text{ кг};$$

$$H_7 = 4309,9 + 21,65 - 20,5 (S_6) = 4311,05 \text{ кг};$$

$$G_7 = 4309,9 \frac{100}{100 - 18} = 5255,9 \text{ кг}.$$

8. Вылеживание массы:

$$R_8 = 4311,05 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 21,6 \text{ кг};$$

$$H_8 = 4311,05 + 21,6 - 130,95 (S_5) = 4201,7 \text{ кг};$$

$$G_8 = 4201,7 \frac{100}{100 - 18} = 5124,0 \text{ кг}.$$

9. Смешение и первичная подготовка массы:

$$R_9 = 4201,7 \frac{1,5}{100 - 1,5} = 64,0 \text{ кг};$$

$$H_9 = 4201,7 + 64,05 = 4265,7 \text{ кг}.$$

Рассчитываем массу сырьевых материалов в соответствии с принятым рецептом шихты:

$$\text{Глина} = 4265,7 \frac{75}{100} = 3199,3;$$

$$\text{Шлак металлургический} = 4265,7 \frac{10}{100} = 426,6;$$

$$\text{Гранитные отсеvy} = 4265,7 \frac{15}{100} = 639,8.$$

10. Склад глины:

$$R_{10} = 3199,3 \frac{1}{100 - 1} = 32,3 \text{ кг};$$

$$H_{10} = 3199,3 + 32,3 = 3231,6 \text{ кг};$$

$$G_{10} = 3231,6 \frac{100}{100 - 20} = 4039,5 \text{ кг}.$$

11. Склад шлака металлургического:

$$R_{11} = 426,6 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 2,15 \text{ кг};$$

$$H_{11} = 426,6 + 2,15 - 15,84 (S_1) - 34,77 (S_2) - 151,1 (S_3) = 227,04 \text{ кг};$$

$$G_{11} = 227,04 \frac{100}{100 - 4,5} = 238,0 \text{ кг}.$$

12. Склад гранитных отсеvов:

$$R_{12} = 639,8 \frac{0,5}{100 - 0,5} = 3,2 \text{ кг};$$

$$H_{12} = 639,8 + 3,2 = 643,0 \text{ кг};$$

$$G_{12} = 643,0 \frac{100}{100 - 3,0} = 662,9 \text{ кг}.$$

Результаты расчета сводим с табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Нормы расхода сырьевых материалов и нормативы потерь  
при производстве керамического кирпича**

Технологический передел	Потери $R_i$ , кг	Возвратные потери $S_i$ , кг	Количество перерабатываемого материала $H_i$ , кг	Расход материала с учетом влажности $G_i$ , кг
1. Склад готовой продукции	17,6	15,84	3527,6	—
2. Сортировка готовой продукции	35,6	34,77	3563,2	—
3. Обжиг полуфабрикатов изделий	167,9	151,1	3731,1	—
4. ППП	280,8	—	4011,9	—
5. Сушка	145,5	130,95	4288,35	4398,3
6. Пластическое формование	21,55	20,5	4309,9	5256,0
7. Вторичная переработка массы	21,65	—	4311,05	5255,9
8. Вылеживание массы	21,6	—	4201,7	5124,0
9. Смешение и первичная подготовка массы	64,0	—	4265,7	—
10. Склад глины	32,3	—	3231,6	4039,5
11. Склад шлака	2,15	—	227,04	238,0
12. Склад гранулированных отсевов	3,2	—	643,0	662,9

**3.3. Расчет норм расхода сырьевых материалов  
в производстве цемента**

Индивидуальная норма расхода сырья ( $H_{с.к}$ ) на производство портландцементного клинкера рассчитывается на единицу готовой продукции по формуле

$$N_{c.ki} = \sum_{i=1}^{i=n} N_{c.ki}^c \frac{100}{100 - T_i^c} \frac{100}{100 - T_i^k},$$

где  $N_{c.k}$  – норма расхода сырья на производство портландцементного клинкера, кг/кг;  $n$  – количество компонентов сырья;  $N_{c.ki}^c$  – чистая норма расхода компонентов сырья, кг/кг;  $T_i^c$  – величина безвозвратных технологических потерь компонента сырья на переделе его переработки, %;  $T_i^k$  – величина безвозвратных технологических потерь компонента сырья на переделе обжига портландцементного клинкера, %.

$$N_{c.ki}^c = b_i \frac{100}{100 - W_{ci}} \frac{100}{100 - \text{ППП}_{\text{см}}},$$

где  $b_i$  – доля компонента в сырьевой смеси;  $W_{ci}$  – относительная влажность компонента сырья, %;  $\text{ППП}_{\text{см}}$  – потери при прокаливании сырьевой смеси, %.

Рекомендуется принимать следующие значения безвозвратных технологических потерь на переделе переработки сырья:

а) для мело-мергелистых компонентов, содержащих крупные кремнистые включения, – 2–4%;

б) для остальных компонентов сырьевой смеси – 0,5–1,5%.

Безвозвратные технологические потери сырьевой смеси на переделе обжига клинкера составляют 1–2%.

Индивидуальная норма расхода сырья на производство цемента рассчитывается на единицу готовой продукции:

$$N_{c.ц} = N_{c.k} \frac{100 - G_{\Gamma}}{100} \frac{100 G_{\text{м.д}}}{100} \frac{100}{100 - T_{\text{б.п.}}^ц},$$

где  $G_{\Gamma}$  – процентное содержание гипсового камня в цементе, %;  $G_{\text{м.д}}$  – процентное содержание минеральной добавки в цементе, %;  $T_{\text{б.п.}}^ц$  – безвозвратные технологические потери цемента, %.

Безвозвратные потери цемента принимаются равными 0,5–2%, минеральных добавок – 1,0–2,0%, гипса – 1,0–2,0%.

Пример. Рассчитать норму расхода сырья на производство клинкера, бездобавочного цемента и цемента с добавками:

1. Компоненты сырьевой смеси их характеристики: мел ( $W_c = 27\%$ ; ППП = 43,21%); глина ( $W_c = 21,0\%$ ; ППП = 12,50%); пиритные огарки ( $W_c = 26,8\%$ ; ППП = 0,00%).

2. Рассчитанный состав сырьевой смеси, мас. %: мел – 75,84; глина – 20,27; пиритные огарки – 3,89 (ППП = 35,34).

3. Способ приготовления сырьевой смеси – мокрый.

4. Безвозвратные технологические потери компонентов при приготовлении сырьевого шлама: мела – 3%; остальных – по 1%.

5. Безвозвратные технологические потери компонентов при обжиге клинкера – 1%.

6. Содержание гипсового камня в цементе – 4,0%.

7. Содержание активной минеральной добавки (гранулированного доменного шлама) в добавочном цементе – 17%.

8. Безвозвратные технологические потери цемента – 2,0%.

$$H_{c.k} = H_m + H_g + H_o;$$

$$H_m = \frac{100}{100 - 27} \frac{100}{100 - 35,34} \frac{100}{100 - 3} \frac{100}{100 - 1} 0,7584 =$$

= 1,673 кг мела/кг клинкера;

$$H_g = \frac{100}{100 - 21} \frac{100}{100 - 35,34} \frac{100}{100 - 1} \frac{100}{100 - 1} 0,2027 =$$

= 0,404 кг глины/кг клинкера;

$$H_o = \frac{100}{100 - 26,8} \frac{100}{100 - 35,34} \frac{100}{100 - 1} \frac{100}{100 - 1} 0,0389 =$$

= 0,084 кг огарков/кг клинкера;

$$H_{c.k} = 1,673 + 0,404 + 0,084 = 2,161 \text{ кг сырьевой смеси/кг клинкера.}$$

Норма расхода сырья на производство бездобавочного цемента

$$H_{c.ц} = 2,161 \frac{100 - 4,0}{100} \frac{100}{100 - 2,0} = 2,116 \text{ кг сырья/кг цемента;}$$

$$H_{c.ц}^д = 2,161 \frac{100 - 4,0}{100} \frac{100 - 17}{100} \frac{100}{100 - 2,0} = 1,757 \text{ кг сырья/кг це-}$$

мента.

### 3.4. Расчет норм расхода сырьевых материалов в производстве силикатного кирпича и извести

Чтобы определить потребность предприятия в сырьевых материалах, предварительно рассчитывают их расход на 1000 шт. кирпича. Все расчеты производят на условный кирпич. Сухую массу 1000 шт. условного кирпича определяют по выражению

$$M_c = abh\gamma_k 1000,$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $h$  – линейные размеры условного кирпича, м;  $\gamma_k$  – сухая объемная масса кирпича, кг/м<sup>3</sup>.

Теоретический расход воздушной строительной извести на 1000 шт. условного силикатного кирпича рассчитывают по формуле

$$G_{и} = \frac{M_c A_c}{A_{и}},$$

где  $A_c$  – активность силикатной смеси, %;  $A_{и}$  – активность извести, %.

Если предприятие работает на привозной извести, то ее активность принимают несколько ниже активности извести, выпускаемой заводом. Абсолютное значение активности извести зависит от условий ее транспортировки и хранения.

Теоретический расход песка естественной влажности на 1000 шт. кирпича определяют по формуле

$$G_{п}^w = G_{п} \frac{100}{100 - W_{п}},$$

где  $W_{п}$  – естественная влажность песка, %.

На современных заводах силикатного кирпича помол извести и песка (вяжущего) производят в соотношении 1 : 1. Это соотношение можно изменить, учитывая свойства кремнеземистого компонента и основываясь на новых теоретических разработках научно-исследовательских институтов. При вышеуказанном соотношении вяжущего расход измельченного песка соответствует расходу извести на 1000 шт. кирпича:

$$G_{п}^и = G_{и}.$$

Теоретический расход неизмельченного песка на 1000 шт. кирпича рассчитывают по уравнениям

$$G_{\text{п}}^{\text{н}} = G_{\text{п}} - G_{\text{п}}^{\text{вн}};$$

$$G_{\text{п}}^{\text{вн}} = G_{\text{п}}^{\text{н}} \frac{100}{100 - W_{\text{п}}},$$

где  $G_{\text{п}}^{\text{н}}$  – расход сухого неизмельченного песка, кг;  $G_{\text{п}}^{\text{вн}}$  – расход неизмельченного песка естественной влажности, кг.

Нормы потерь сырьевых материалов на предприятиях по производству силикатного кирпича представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Допустимые нормы потерь сырья и материалов на предприятиях  
силикатного кирпича**

Потери для различных материалов	Процент потерь от общего расхода
Привозная известь	До 3
Известь, выпускаемая самим предприятием	1–1,5
Песок при транспортировке	1,5–2,0
Песок при предварительной подготовке	До 5
Силикатная масса при прессовании с учетом брака	До 2
Брак силикатного кирпича после автоклавной обработки	Не более 1,5

Пример. Рассчитать расход природного мела с карьерной влажностью 27% и мелового шлама с влажностью 40% для получения 1 т извести, содержащей 75% CaO, 2% MgO, 5% CO<sub>2</sub>, остальное – примеси. Безвозвратный пылеунос составляет 3% от массы сухого мела.

При обжиге природного мела декарбонизация происходит не полностью, поэтому в составе извести остается неразложившийся CaCO<sub>3</sub> (5% в пересчете на CO<sub>2</sub>). Массу неразложившегося CaCO<sub>3</sub> находят по уравнению



Из 1 кмоль CaCO<sub>3</sub> можно получить 1 кмоль CO<sub>2</sub>, или из 100 кг CaCO<sub>3</sub> – 44 кг CO<sub>2</sub>. Отсюда в 1 т извести с содержанием 5% CO<sub>2</sub> (50 кг) будет неразложившегося карбоната кальция:

$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{50 \text{ кг} \cdot 100 \text{ кг/кмоль}}{44 \text{ кг/кмоль}} = 113,6 \text{ кг}.$$

Тогда в 1 т извести содержится 750 кг СаО, 20 кг MgO, 113,6 кг СаСО<sub>3</sub> и 116,4 кг примесей.

Масса карбоната кальция, подвергшегося декарбонизации, равна

$$\frac{750 \text{ кг} \cdot 100 \text{ кг/кмоль}}{56 \text{ кг/кмоль}} = 1339,3 \text{ кг.}$$

Находим массу разложившегося MgСО<sub>3</sub> по уравнению



$$m(\text{MgCO}_3) = \frac{20 \text{ кг} \cdot 84 \text{ кг/кмоль}}{40 \text{ кг/кмоль}} = 42 \text{ кг.}$$

Тогда масса сухого песка для получения 1 т извести составляет  
 $1339,3 + 113,6 + 116,4 + 42 = 1611,3 \text{ кг.}$

Расход сухого мела с учетом 3% пылеуноса равен

$$\frac{1611,3 \text{ кг} \cdot 100\%}{100\% - 4\%} = 1678,4 \text{ кг.}$$

Расход природного мела с влажностью 27% будет составлять

$$\frac{1678,4 \text{ кг} \cdot 100\%}{100\% - 27\%} = 2299,2 \text{ кг.}$$

Расход мелового шлама с влажностью 39% равен

$$\frac{1678,4 \text{ кг} \cdot 100\%}{100\% - 39\%} = 2751,5 \text{ кг.}$$

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Определить расход глины (массовый и объемный) для изготовления 1000 шт. условного кирпича со средней плотностью 1650 кг/м<sup>3</sup>. Средняя плотность сырой глины – 1580 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 14%. При обжиге сырца в печи ППП составляют 9% от массы сухого материала.

2. Определить расход глины (массовый и объемный) для изготовления 1000 шт. пористого кирпича со средней плотностью 1300 кг/м<sup>3</sup>. Средняя плотность сырой глины – 1600 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 17%. При обжиге сырца в печи ППП составляют 12% от массы сухого материала.



3. Сколько штук кирпича получится при обжиге 80 т сырой глины, если влажность сырья – 12%, ППП – 8%, а ее безвозвратные технологические потери составляют 3% от массы сухого материала. Средняя плотность полученного кирпича –  $1700 \text{ кг/м}^3$ .

4. Определить расход материалов для получения 5000 шт. керамического кирпича со средней плотностью  $1750 \text{ кг/м}^3$ . Шихтовый состав массы, мас. %: глина – 75; гранитные отсеvy – 7; кварцевый песок – 13. Влажность глины – 14%; гранитных отсеvov – 7%; кварцевого песка – 6%. ППП, мас. %: глина – 11; гранитные отсеvy – 6; кварцевый песок – 1,2. Технологические потери сырьевых материалов составляют 2% от массы сухого сырья.

5. Определить влажность кирпича-сырца, если для получения 1000 шт. керамического кирпича со средней плотностью  $1850 \text{ кг/м}^3$  использовано 5400 кг сырца. ППП глины составляет 12%.

6. Требуется сварить 2 т стекла следующего состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 70;  $\text{CaO}$  – 10;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2. Определить расходные коэффициенты сырьевых материалов. Считать, что сода содержит 98%, мел – 97%, глинозем – 98%, кремнезем – 5% примесей, а борная кислота примесей не содержит. Улетучиванием и составом примесей пренебречь.

7. Для получения жидкого стекла используют силикат-глыбу состава  $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ . Определить расходные коэффициенты карбоната натрия и кремнезема для получения 1 т силикат-глыбы с силикатным модулем  $n = 3$ .

8. Для получения жидкого стекла используют силикат-глыбу состава  $\text{K}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ . Определить расходные коэффициенты карбоната калия и кремнезема для получения 1 т силикат-глыбы с  $n = 3,5$ .

9. Требуется сварить 5 т стекла следующего состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 75;  $\text{CaO}$  – 10;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 15. Определить расходные коэффициенты сырьевых компонентов. Считать, что сода и мел содержат 100% основного вещества, а кремнезем – 2% примесей. Улетучиванием и составом примесей пренебречь.

10. Для получения 1 т стекла расходуется 650 кг песка, 185 кг соды, 109 кг сульфата натрия, 68 кг известняка, 165 кг доломита, 103 кг пигмента и 15 кг угля. Определить общую массу сырья для суточной работы печи, которая производит 200 т стекломассы. Какой объем занимает шихта, если насыпная плотность песка –  $1800 \text{ кг/м}^3$ , соды – 900, сульфата натрия – 1000, известняка – 1700, доломита – 1650, пигмента – 1800, угля –  $400 \text{ кг/м}^3$ ?

11. Определить массу кирпича-сырца с влажностью 20%, необходимую для получения 1000 шт. кирпича со средней плотностью  $1600 \text{ кг/м}^3$ . ППП шихты составляют 15%.

12. Рассчитать, количество штук силикатного кирпича, которое можно получить при использовании 2 т воздушной строительной извести с активностью 76%. Содержание CaO в сухой силикатной смеси – 9%. Средняя плотность силикатного кирпича –  $1650 \text{ кг/м}^3$ , влажность – 6%.

13. Рассчитать, сколько штук полуторного силикатного кирпича можно получить при использовании 1 т извести с активностью 85%. Средняя плотность кирпича –  $1600 \text{ кг/м}^3$ . Активность негашеной силикатной смеси – 8,5%. Активность известково-песчаного вяжущего – 35%. Влажность полученного кирпича – 5%.

14. Рассчитать расход воды для получения 1000 шт. одинарного силикатного кирпича-сырца с влажностью 6% и средней плотностью  $1850 \text{ кг/м}^3$ . Активность извести – 72%, известково-песчаного вяжущего – 36%, негашеной силикатной смеси – 9%. Карьерная влажность песка – 5%. При гашении силикатной смеси испаряется 38% воды от массы, необходимой на химическую реакцию. Известь содержит 2,5% активного MgO.

15. Рассчитать, сколько CaO получится при полном обжиге 1 т известняка. Известняк содержит 1,8% кремнезема, а его влажность – 3%. Определить расход известняка для получения 1 т воздушной строительной извести.

16. Определить расходный коэффициент чистого известняка для получения 800 кг CaO, если степень декарбонизации составляет 0,92. Влажность известняка – 2,5%.

17. Рассчитать, сколько CaO получится при обжиге 1 т известняка. Известняк содержит 1,2% кремнезема, его влажность – 3%. Степень декарбонизации CaCO<sub>3</sub> составляет 0,96.

18. Определить массу CaO при обжиге 9000 кг известняка с влажностью 6%. Известняк содержит 92% CaCO<sub>3</sub>, степень декарбонизации которого – 0,85.

19. Мел содержит 5% песчаных примесей и 3% глинистого сухого вещества (в виде каолинита). Рассчитать активность извести, если степень разложения карбоната кальция составляет 0,95. Учесть, что образующийся CaO вступает во взаимодействие с SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, выделившимися из каолинита.

20. Определить массу мелового шлама для получения 200 т воздушной строительной извести. Влажность шлама – 39%, пылеунос – 2% от массы извести. Известь содержит 75% CaO, 20% CaCO<sub>3</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси.

21. Определить выход извести при обжиге 600 т мелового шлама с влажностью 45%. Мергель содержит 85% CaCO<sub>3</sub>, 8% SiO<sub>2</sub> и 7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O. Определить содержание CaO, если степень диссоциации CaCO<sub>3</sub> – 0,92, а при обжиге образуются 2CaO · SiO<sub>2</sub> и CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

22. Определить массу CaO, образующегося при обжиге 100 кг известняка с влажностью 4,5%. Сухой известняк содержит 83% CaCO<sub>3</sub>, 12% SiO<sub>2</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси. Степень диссоциации – 0,95. Учесть, что при обжиге 50% SiO<sub>2</sub> вступает в реакцию с CaO с образованием 2CaO · SiO<sub>2</sub>.

23. Определить массу и состав, мас. %, магнезиальной извести, образующейся при обжиге 2000 т доломита с влажностью 6%. Состав доломита на сухое вещество, мас. %: CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub> – 88; CaCO<sub>3</sub> – 5; остальное – примеси. Учесть, что при обжиге образуется 2CaO · SiO<sub>2</sub>. Степень разложения карбонатов кальция и магния составляет 1.

24. Определить расход мелового шлама для получения 200 т извести. Влажность шлама – 40%, пылеунос составляет 2% от массы извести. Известь содержит 78% CaO, 14% CaCO<sub>3</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси.

25. Определить выход доломитовой извести при обжиге 1200 т доломита с влажностью 4,6%. Сухой доломит содержит 35% CaO и 23% MgO, остальное – ППП и неразлагающиеся примеси. Безвозвратные технологические потери составляют 2% от массы доломитовой извести. Степень диссоциации CaCO<sub>3</sub> – 0,9, MgCO<sub>3</sub> – 1,0.

26. Определить выход молотой извести, которая получена в результате тонкого помола комовой воздушной извести с добавлением 10% кварцевого песка. Для получения комовой извести израсходовали 2000 т мелового шлама с влажностью 40%. Технологические потери шлама – 2,5%. Сухой мел содержит 95% CaCO<sub>3</sub>, 2% SiO<sub>2</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси. Степень диссоциации CaCO<sub>3</sub> – 0,92. Потери при помоле – 0,4% от массы материала.

27. Определить расход доломита для получения 800 т доломитовой извести. Влажность доломита – 4,5%. Сухой доломит содержит

31% CaO и 25% MgO, остальное – ППП и неразлагающиеся примеси. Степень декарбонизации  $MgCO_3$  – 1,0;  $CaCO_3$  – 0,9.

28. При обжиге гипсового камня с влажностью 5% получена 1 т строительного гипса. Определить расход исходного гипсового камня, если в гипсе содержится 2%  $SiO_2$  и 6%  $CaSO_4$ .

29. Глиногипс, содержащий в своем составе 30% каолинита и 70% дигидрата сульфата кальция, был обожжен вначале при температуре 170°C, а затем при 800°C. Определить выход продукта в процентах при этих температурах. Температура дегидратации каолинита – 800°C.

30. Определить выход и активность извести, если содержание активных CaO и MgO в сырье в 7 раз выше примесей. Потери при прокаливании при полной карбонизации составляют 40%. Степень декарбонизации принять равной 95%.

31. Определить массу воды, необходимой для гашения 100 кг доломитовой извести в тесто с влажностью 70%. Доломитовая известь содержит 35% MgO, 44% CaO, остальное – примеси. При гашении испаряется 15% от массы воды, необходимой для реакции.

32. Рассчитать, сколько сухой извести-пушонки получится при гашении 120 кг извести, содержащей 4% MgO, 72% CaO (активных). Рассчитать массу воды, необходимой для гашения, если учесть, что 20% воды испаряется за счет экзотермии реакции.

33. Рассчитать, сколько воды израсходовано на приготовление 2 м<sup>3</sup> известкового молока с объемной массой 1,15 г/см<sup>3</sup>, если негашеная известь содержала 80% активного CaO, а при гашении испарилось 15% воды от ее необходимой массы. Известковое молоко содержит 85% воды.

34. Определить массу воды для приготовления известкового теста с содержанием H<sub>2</sub>O 65%. Негашеная комовая известь содержала 88% активного CaO и 1,2% активного MgO. При гашении испарилось 20% от массы воды, необходимой для реакции. Масса исходной извести – 1 т.

35. Определить расход природного гипса с влажностью 4% для получения 4 т строительного гипса с содержанием  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$  92%, остальное – примеси.

36. Определить расход воды для гидратации 15 кг строительного гипса, содержащего 12% примесей. Степень гидратации β-полугидрата составляет 0,88.

37. Определить теоретическое количество воды, необходимое для гидратации 12 кг строительного гипса. Гипс содержит 4% негидратирующихся примесей.

38. Определить количество гипсового камня, необходимое для получения 300 кг строительного гипса, содержащего 80%  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . Гипсовый камень имеет влажность 4% и содержит в сухом виде 90%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

39. Рассчитать выход строительного гипса, который образуется при дегидратации 2 т гипсового камня, содержащего в сухом виде 92%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , остальное – неразлагающиеся примеси.

40. Определить выход цементного клинкера из 8000 т сырьевого шлама с влажностью 11%. Пылеунос – 2,5% от массы клинкера, ППП сырьевой смеси – 35,5%. Определить массу полученного цемента, если при помоле добавляется 5% гипса и 20% минеральной добавки от массы цемента.

41. Определить расход сырьевого шлама для получения 150 т портландцементного клинкера. Влажность шлама – 42%, пылеунос – 2,5% от массы сухого сырья, ППП сырьевой смеси – 34%.

42. Определить объем сырьевого шлама с плотностью  $1650 \text{ кг/м}^3$  и влажностью 42% для получения 3000 т цементного клинкера. ППП сырьевой смеси – 36%, а пылеунос – 2% от массы сухого сырья.

#### 4. ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ БАЛАНСОВ И МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ В ТЕХНОЛОГИИ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основой технологических расчетов являются материальные расчеты. Только определив материальные потоки, можно произвести конструктивные расчеты производственного оборудования и коммуникаций, оценить экономическую эффективность и целесообразность процесса. Составление материального баланса необходимо как при проектировании нового, так и при анализе работы действующего производства.

Материальный баланс является количественным выражением закона сохранения массы применительно к отдельным стадиям производственного процесса, означает, что масса веществ, поступающих на технологическую операцию (приход), равна массе полученных веществ (расходу). Материальный баланс может быть представлен уравнением, левую часть которого составляет масса всех видов сырья и материалов, поступающих на переработку, а правую – масса получаемых продуктов или производственные потери.

В общем виде уравнение материального баланса может быть представлено в следующем виде:

$$G_a + G_b = G_c + G_d + G_{a'} + G_{b'} + \dots + G_e + G_f + G_{\text{п}},$$

где  $G_a, G_b$  – масса веществ, введенных в производственный процесс;  $G_c, G_d$  – масса продуктов, полученных в результате взаимодействий;  $G_{a'}, G_{b'}$  – масса непрореагировавших исходных веществ;  $G_e, G_f$  – масса побочных продуктов реакции;  $G_{\text{п}}$  – технологические (производственные) потери.

Материальный баланс составляют на единицу массы готовой продукции (кг, т), на единицу массы сырья (кг, т) или на единицу времени (ч, сут).

Теоретический материальный баланс рассчитывают на основе стехиометрического уравнения реакции. Для его составления достаточно знать уравнение реакции и молярные массы компонентов.

Практический материальный баланс учитывает состав исходного сырья и готовой продукции, избыток одного из компонентов сырья, степень превращения, потери сырья и готового продукта и т. д.

Для составления материального баланса необходимо знать химический состав, физические и физико-химические свойства исходно-

го сырья, отходов, основных и побочных продуктов. После проведения стехиометрических расчетов, для которых используются данные технической и материальной отчетности производства, результаты вычислений оформляются в виде таблицы, состоящей из двух частей: приходной и расходной. В каждой из них все статьи баланса выражаются не только в массовых единицах, но и в процентах к общему приходу или расходу.

Пример. Составить материальный баланс обжиговой печи в производстве портландцементного клинкера (на 1 т клинкера), если в состав сырьевой шихты входит 22% легкоплавкой глины и 78% мела. Состав сырья, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 66;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6,0;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,8;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,2; ППП – 8,0; мел:  $\text{CaCO}_3$  – 93,0,  $\text{SiO}_2$  – 2,0, примеси – 5,0. Исходя из заданного соотношения глины и мела в шихте и их химического состава, определяем содержание входящих в шихту компонентов и состав образующегося (из 100 кг шихты) клинкера (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Расчет состава шихты и клинкера**

Исходный компонент	Состав шихты, %	Состав клинкера, кг	Состав клинкера, %
Мел, 78%	$\text{CaCO}_3: 78 \cdot 0,93 = 72,54$	–	–
	CaO	$\frac{72,54 \cdot 56}{100} = 40,6$	$\frac{40,6 \cdot 100}{66,3} = 61,24$
	$\text{SiO}_2: 78 \cdot 0,02 = 1,56$	1,56	$\frac{1,56 \cdot 100}{66,3} = 2,35$
	Примеси: $78 \cdot 0,05 = 3,9$	3,9	$\frac{3,9 \cdot 100}{66,3} = 5,88$
Легкоплавкая глина, 22%	$\text{SiO}_2: 22 \cdot 0,66 = 14,52$	14,52	$\frac{14,52 \cdot 100}{66,3} = 21,90$
	$\text{Al}_2\text{O}_3: 22 \cdot 0,17 = 3,74$	3,74	$\frac{3,74 \cdot 100}{66,3} = 5,64$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3: 22 \cdot 0,06 = 1,32$	1,32	$\frac{1,32 \cdot 100}{66,3} = 2,00$
	$\text{K}_2\text{O}: 22 \cdot 0,008 = 0,176$	0,176	$\frac{0,176 \cdot 100}{66,3} = 0,26$
	$\text{Na}_2\text{O}: 22 \cdot 0,022 = 0,484$	0,484	$\frac{0,484 \cdot 100}{66,3} = 0,73$
	ППП: $22 \cdot 0,08 = 1,76$	–	–
<i>Итого</i>	100	66,3	100

Расход сырья для получения 1 т портландцементного клинкера:

– карбоната кальция:  $612,4 \frac{100}{56} = 1093,6$  кг;

– мела:  $\frac{1093,6}{0,93} = 1175,9$  кг

(1175,9 – 1093,6 = 82,3 кг составляет масса примесей SiO<sub>2</sub> в карбонатной породе);

– глины:

$$\frac{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})100\%}{100\% - \text{ППП глины}} =$$

$$= \frac{(219 + 56,4 + 20 + 2,6 + 7,3)100\%}{100\% - 8,0\%} = \frac{305,3 \cdot 100\%}{92\%} = 331,8 \text{ кг}$$

(ППП глины: 331,8 – 305,3 = 26,5 кг).

Масса диоксида углерода, образовавшегося на 1 т портландцементного клинкера:

$1175,9 - 612,4 - 82,3 = 481,2$  кг.

Расчет сведем в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Материальный баланс печи  
для получения 1 т портландцементного клинкера**

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
1. Мел:		1. Портландцементный клинкер:	
CaCO <sub>3</sub>	1093,6	CaO	612,4
Примеси, в том числе SiO <sub>2</sub>	82,3	SiO <sub>2</sub> (23,5 + 219)	242,5
2. Легкоплавкая глина:		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56,4
SiO <sub>2</sub>	219	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56,4	K <sub>2</sub> O	2,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,0	Na <sub>2</sub> O	7,3
K <sub>2</sub> O	2,6	Примеси	58,8
Na <sub>2</sub> O	7,3	2. CO <sub>2</sub>	481,2
ППП	26,5	3. ППП из глины	26,5
<i>Итого</i>	1507,7	<i>Итого</i>	1507,7

Пример. Составить материальный баланс варки стекла с использованием чистых сырьевых материалов. Состав шихты, мас. %:



- песок кварцевый (SiO<sub>2</sub>) – 32;
- борная кислота (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) – 24;
- диоксид титана (TiO<sub>2</sub>) – 12;
- глинозем технический (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 5;
- натриевая селитра (NaNO<sub>3</sub>) – 18,0;
- калиевая селитра (KNO<sub>3</sub>) – 7,5;
- магнезит (MgCO<sub>3</sub>) – 1,5.

Учесть, что при варке улетучивается 15% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 3% NaNO<sub>3</sub> и 5% KNO<sub>3</sub>.

Исходя из заданного состава шихты, определяем содержание входящих в шихту компонентов и состав образующегося (из 100 кг шихты) стекла (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Расчет состава шихты и стекла**

Состав шихты, %	Состав стекла, кг	Состав стекла, %
Песок кварцевый – 32	SiO <sub>2</sub> = 32	$\frac{32 \cdot 100}{73,32} = 43,65$
Борная кислота – 24	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{13,55 \cdot 100}{73,32} = 18,48$
Диоксид титана – 12	TiO <sub>2</sub> = 12	$\frac{12 \cdot 100}{73,32} = 16,37$
Глинозем технический – 5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 5	$\frac{5 \cdot 100}{73,32} = 6,82$
Натриевая селитра	Na <sub>2</sub> O $\frac{18 \cdot 62}{170} = 6,56$	$\frac{6,56 \cdot 100}{73,32} = 8,94$
Калиевая селитра – 7,5	K <sub>2</sub> O $\frac{7,5 \cdot 94}{202} = 3,50$	$\frac{3,50 \cdot 100}{73,32} = 4,77$
Магнезит – 1,5	MgO $\frac{1,5 \cdot 40}{84} = 0,71$	$\frac{0,71 \cdot 100}{73,32} = 0,97$
<i>Итого:</i> 100	<i>Итого:</i> 73,32	<i>Итого:</i> 100

Расход сырья для получения 1 т стекла:

- кварцевого песка: 436,5 кг;
- борной кислоты:  $\frac{18,48 \cdot 124}{70} = 327,36$  кг с учетом 15% улетучи-

вания:  $\frac{327,36 \cdot 100\%}{100\% - 15\%} = 385,2$  кг (потери  $\text{H}_3\text{BO}_3$  составят  $385,2 - 327,36 = 57,84$  кг);

– диоксида титана: 163,7 кг;

– глинозема технического: 68,2 кг;

– натриевой селитры:  $\frac{89,4 \cdot 170}{62} = 245,1$  кг; с учетом 3% улетучивания:

вания:  $\frac{245,1 \cdot 100\%}{100\% - 3\%} = 252,68$  кг (потери  $\text{NaNO}_3$  составят  $252,68 - 245,1 = 7,58$  кг);

– калиевой селитры:  $\frac{47,7 \cdot 202}{94} = 102,5$  кг; с учетом 15% улетучивания:

вания:  $\frac{102,5 \cdot 100\%}{100\% - 5\%} = 107,9$  кг (потери  $\text{KNO}_3$  составят  $107,9 - 102,5 = 5,4$  кг);

– магнезита:  $\frac{9,7 \cdot 84}{40} = 20,3$  кг.

Расход шихты для получения 1 т стекла (без учета потерь):

$\frac{1000 \cdot 100\%}{73,32} = 1363,88$  кг.

Угар шихты составит  $1363,88 - 1000 = 363,88$  кг.

Расчет сведен в табл. 4.4.

Таблица 4.4

**Материальный баланс**

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
1. Кварцевый песок	436,5	1. Готовая продукция (стекло):	
2. Борная кислота	385,2	$\text{SiO}_2$	436,5
3. Диоксид титана	163,7	$\text{B}_2\text{O}_3$	184,8
4. Глинозем технический	68,2	$\text{TiO}_2$	163,7
5. Натриевая селитра	252,68	$\text{Al}_2\text{O}_3$	68,2
6. Калиевая селитра	107,9	$\text{Na}_2\text{O}$	89,4
		$\text{K}_2\text{O}$	47,7
		$\text{MgO}$	9,7
7. Магнезит	20,3	2. Угар шихты	363,88
		3. Потери	70,82
<i>Итого</i>	1434,48	<i>Итого</i>	1434,7

Невязка баланса:

$$\frac{1434,7 - 1434,48}{1434,7} 100\% = 0,015\%.$$

Пример. Рассчитать материальный баланс производства 1000 шт. условного керамического кирпича со средней плотностью  $1700 \text{ кг/м}^3$ . Сырьевая шихта состоит из 70% легкоплавкой глины, 20% кварцевого песка и 10% шамота (бой или брак кирпича). Относительная влажность формовочной шихты – 20%. Глина имеет влажность 21%, потери при прокаливании – 8%. Технологические потери составляют: для кварцевого песка при просеивании – 1%; для шамота при дроблении и просеивании – 3%, для глины, кварцевого песка и шамота при обработке до формования – 3%; при просеивании – 1%, при сушке и обжиге – 5%.

Определяем объем 1000 шт. условного керамического кирпича:

$$V = 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 = 1,95 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем массу 1000 шт. условного кирпича:

$$G_k = 1,95 \cdot 1700 = 3315 \text{ кг}.$$

Определяем массу сырьевых материалов для изготовления 1000 шт. условного кирпича:

$$- \text{масса шамота } G_{\text{ш}} = 3315 \cdot 0,1 = 331,5 \text{ кг};$$

$$- \text{масса кварцевого песка } G_{\text{кв.п}} = 3315 \cdot 0,2 = 663 \text{ кг};$$

$$- \text{масса термообработанной глины } G_{\text{гл}} = 3315 \cdot 0,7 = 2320,5 \text{ кг}.$$

Вычисляем массу сухой глины, поступающей на обжиг:

$$G_{\text{гл}}^c = \frac{2320,5 \cdot 100\%}{100\% - 8\%} = 2522,3 \text{ кг}$$

(масса продуктов горения и связанной воды в глине  $2522,3 - 2320,5 = 201,8 \text{ кг}$ ).

Рассчитываем массу глины до сушки (расход глины с учетом ее влажности):

$$G_{\text{гл}}^b = \frac{2522,3 \cdot 100\%}{100\% - 21\%} = 3192,8 \text{ кг}$$

(масса воды, выделяющейся при сушке и обжиге:  $3192,8 - 2522,3 = 670,5 \text{ кг}$ ).

Определяем массу сухих сырьевых материалов для получения 1000 шт. условного кирпича:

$$G_{\text{гл}}^c + G_{\text{кв.п}} + G_{\text{ш}} = 2522,3 + 663 + 331,5 = 3516,8 \text{ кг.}$$

Рассчитываем массу сырьевой шихты для получения керамического кирпича, имеющей формовочную влажность 20%:

$$G_{\text{с.ш}} = \frac{3516,8 \cdot 100\%}{100\% - 20\%} = 4396 \text{ кг}$$

(масса воды в сырьевой шихте составит  $4396 - 3516,8 = 879,2$  кг, следовательно, для обеспечения формовочной влажности необходимо добавить воды  $879,2 - 670,5 = 208,7$  кг).

Технологические потери сырьевых материалов определяют по расходным коэффициентам ( $K_p$ ):

$$K_p = \frac{1}{\left(1 - \frac{T_1}{100}\right) \left(1 - \frac{T_2}{100}\right) \dots \left(1 - \frac{T_i}{100}\right)},$$

где  $T_1, T_2, \dots, T_i$  – технологические потери.

Расходный коэффициент для глины:

$$K_{\text{р.гл}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{3}{100}\right) \left(1 - \frac{1}{100}\right) \left(1 - \frac{5}{100}\right)} = 1,1.$$

Расходный коэффициент для шамота:

$$K_{\text{р.ш}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{3}{100}\right) \left(1 - \frac{3}{100}\right) \left(1 - \frac{1}{100}\right) \left(1 - \frac{5}{100}\right)} = 1,13.$$

Расходный коэффициент для кварцевого песка:

$$K_{\text{р.кв.п}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{100}\right) \left(1 - \frac{3}{100}\right) \left(1 - \frac{1}{100}\right) \left(1 - \frac{5}{100}\right)} = 1,12.$$

Расход глины с учетом технологических потерь составит  $3192,8 \times 1,1 = 3512,08$ , а ее технологические потери  $8312,08 - 3192,8 = 319,28$  кг.

Расход шамота с учетом технологических потерь составит  $331,5 \times 1,13 = 374,6$  кг, а его технологические потери  $374,6 - 331,5 = 43,1$  кг.

Расход кварцевого песка с учетом технологических потерь составит  $663 \cdot 1,12 = 742,56$  кг, а его технологические потери  $742,56 - 663 = 79,56$  кг. Результаты расчетов сведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

**Материальный баланс**

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
1. Глина	3512,08	1. Готовая продукция (кирпич керамический):	3315
2. Шамот	374,6	2. Продукты горения и химически связанная вода	201,8
3. Кварцевый песок	742,56	3. Технологические потери сырьевых материалов (319,28 + 43,1 + 79,56)	441,94
4. Вода добавочная	208,7	4. Вода	879,2
<i>Итого</i>	4837,94	<i>Итого</i>	4837,94

Пример. Составить материальный баланс производства гипсового вяжущего в барабанном дегидрататоре производительностью 80 т в сутки по сырью. В качестве сырья используется гипсовый щебень состава, мас. %:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 87$ ; минеральные примеси – 5; влажность – 8. Пылеунос составляет 2% от массы готового продукта. Степень дегидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  равна 0,95.

Составляем баланс на суточную производительность. Получение гипсового вяжущего описывается уравнением



Находим количество  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в гипсовом щебне:

$$G_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 80\,000 \cdot 0,87 = 69\,600 \text{ кг.}$$

Количество примесей:

$$G_{\text{пр}} = 80\,000 \cdot 0,05 = 4000 \text{ кг.}$$

Количество механической влаги:

$$G_w = 80\,000 \cdot 0,08 = 6400 \text{ кг.}$$

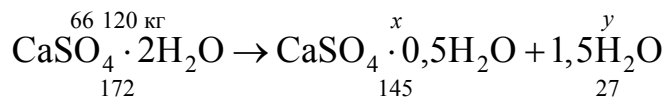
Количество  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , вступившего в реакцию дегидратации:

$$G_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 69\,600 \cdot 0,95 = 66\,120 \text{ кг.}$$

Количество негидратированного  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :

$$G_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 69\,600 - 66\,120 = 3480 \text{ кг.}$$

Количество  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , образующегося в результате дегидратации 66 120 кг  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , и количество кристаллизационной воды:



$$x = \frac{66\,120 \cdot 145}{172} = 55\,740,7 \text{ кг;}$$

$$y = \frac{66\,120 \cdot 27}{172} = 10\,379,3 \text{ кг.}$$

Всего удалится влаги:

$$6400 + 10\,379,3 = 16\,779,3 \text{ кг.}$$

Масса готового продукта:

$$\begin{aligned} G_{\text{п}} &= G_{\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{пр}} = \\ &= 55\,740,4 + 3480 + 4000 = 63\,220,7 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Масса готового продукт с учетом пылеуноса (2%):

$$\begin{aligned} G_{\text{пр}} &= 55\,740,4 \cdot 0,98 + 3480 \cdot 0,98 + 4000 \cdot 0,98 = \\ &= 54\,625,2 + 3481 + 3920 = 62\,026,2 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Количество пылеуноса:

$$G_{\text{пылеуноса}} = 63\,220,7 \cdot 0,02 = 1194,5 \text{ кг.}$$

Расчет сведем в табл. 4.6.

Таблица 4.6

#### Материальный баланс

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
1. Гипсовый камень	73 600	1. Гипсовое вяжущее	62 026,2
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	69 600	В том числе $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	54 625,2
Минеральные при- меси	4 000	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ не- разложившийся	3 481
2. Влага с гипсовым камнем	6 400	2. Испарившаяся влага	16 779,3
		3. Пылеунос	1 194,5
<i>Итого</i>	80 000	<i>Итого</i>	80 000

Пример. Составить материальный баланс получения извести по сухому способу. Исходное сырье – известняк с карьерной влажностью 5%. Потеря массы при полной декарбонизации сухого известняка – 41,5%. Полученная из него воздушная строительная известь при полной декарбонизации теряет 7,5% массы. Определить состав известняка и извести, %, а также степень декарбонизации CaCO<sub>3</sub>, если в составе известняка содержится 1,5% MgCO<sub>3</sub>. Пылеунос составляет 2,0% от массы сухого известняка и 2,0% от массы извести.

Принимаем массу полученной при обжиге извести 1000 кг.

Масса извести с учетом ее пылеуноса составит

$$\frac{1000 \cdot 100\%}{100\% - 2\%} = 1020,4 \text{ кг.}$$

Пылеунос извести равен  $1020,4 - 1000 = 20,4$  кг.

Содержание в извести CO<sub>2</sub> – 7,5%, или по массе

$$\frac{1020,4 \cdot 7,5\%}{100\%} = 76,5 \text{ кг.}$$

Содержание в ней неразложившегося CaCO<sub>3</sub> рассчитываем по уравнению



$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{76,5 \text{ кг} \cdot 100 \text{ кг/кмоль}}{44 \text{ кг/кмоль}} = 173,8 \text{ кг.}$$

Масса CaCO<sub>3</sub> с вычетом 2% пылеуноса составит 170,3 кг.

Масса извести при полной декарбонизации:

$$1020,4 - 76,5 = 943,9 \text{ кг.}$$

Масса сухого известняка:

$$\frac{943,9 \text{ кг} \cdot 100\%}{(100 - 41,5)\%} = 1613,5 \text{ кг.}$$

Масса сухого известняка с учетом пылеуноса 2%:

$$\frac{1613,5 \text{ кг} \cdot 100\%}{(100 - 2)\%} = 1646,4 \text{ кг.}$$

Пылеунос сухого известняка составит

$$1646,4 - 1613,5 = 32,5 \text{ кг.}$$

Суммарный пылеунос:

$$20,4 + 32,5 = 52,9 \text{ кг.}$$

Масса известняка с учетом его карьерной влажности (5%):

$$\frac{1646,4 \text{ кг} \cdot 100 \%}{(100 - 5)\%} = 1733,1 \text{ кг.}$$

Масса воды в составе влажного известняка:

$$1733,1 - 1646,4 = 86,7 \text{ кг.}$$

Масса  $\text{MgCO}_3$  в составе сухого известняка:

$$1613,5 \cdot 0,015 = 24,2 \text{ кг,}$$

а с учетом пылеуноса

$$1646,4 \cdot 0,015 = 24,7 \text{ кг.}$$

Массу  $\text{MgO}$  в составе извести и  $\text{CO}_2$  находим по уравнению



$$m(\text{MgO}) = 11,5;$$

$$m(\text{CO}_2) = 12,7 \text{ кг.}$$

Масса  $\text{MgO}$  с вычетом 2% пылеуноса равна 11,3 кг.

Потеря массы сухого известняка за счет разложения  $\text{MgCO}_3$  составляет

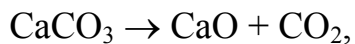
$$\frac{12,7}{1613,5} 100\% = 0,79\% .$$

Следовательно, потеря массы за счет разложения  $\text{CaCO}_3$  равна

$$41,5 - 0,79 = 40,71\%,$$

т. е.  $1613,5 \cdot 0,4071 = 656,9 \text{ кг.}$

Тогда массу  $\text{CaCO}_3$  в составе известняка (с учетом пылеуноса) находим по уравнению



$$1646,4 \cdot 0,925 = 1522,9 \text{ кг.}$$

Масса разложившегося  $\text{CaCO}_3$  равна:

$$1492,9 - 173,8 = 1319,1 \text{ кг.}$$



Масса образующихся компонентов:

$$m(\text{CaO}) = 738,7 \text{ кг}; m(\text{CO}_2) = 580,4 \text{ кг}.$$

Суммарная масса выделившегося  $\text{CO}_2$  равна

$$12,7 + 580,4 = 593,1 \text{ кг}.$$

Масса  $\text{CaO}$  в извести с вычетом 2% пылеуноса составляет 723,9 кг.

Масса примесей в составе известняка равна

$$1613,5 - 1492,9 - 24,2 = 96,4 \text{ кг},$$

а с учетом пылеуноса известняка

$$1646,4 - 1522,9 - 24,7 = 98,8 \text{ кг}.$$

Примеси из известняка переходят в состав извести (96,4 кг) и с вычетом 2% пылеуноса равны 94,5 кг.

Составим таблицу материального баланса на 1000 кг извести (табл. 4.7).

Таблица 4.7

**Материальный баланс обжига извести по сухому способу**

Приход		Расход	
Компонент	Масса, кг	Компонент	Масса, кг
1. Известняк	1522,9	1. Известь	723,9
$\text{CaCO}_3$			
$\text{MgCO}_3$	24,7	$\text{MgO}$	11,5
		$\text{CaCO}_3$	170,3
Примеси	98,8	Примеси	94,5
		2. $\text{CO}_2$	593,1
Вода	86,7	3. Испарившаяся вода	86,7
		4. Пылеунос	52,9
<i>Итого</i>	1733,1	<i>Итого</i>	1732,9

Невязка баланса:

$$\frac{1733,1 - 1732,9}{1733,1} 100\% = 0,01\%.$$

Степень декарбонизации  $\text{CaCO}_3$  определяем как отношение массы разложившегося  $\text{CaCO}_3$  к его исходной массе:

$$\frac{1319,1}{1492,9} = 0,88.$$

### *Задачи для самостоятельного решения*

1. Требуется получить 2 т стекла следующего химического состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 68;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 8;  $\text{CaO}$  – 6;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2;  $\text{MgO}$  – 3. Для составления шихты использовали следующие сырьевые компоненты: диоксид кремния, кальцинированная сода, карбонат кальция, технический глинозем и карбонат магния. При варке улетучивается 4%  $\text{Na}_2\text{O}$  и 12%  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Определить массу и состав исходной сырьевой шихты. Составить материальный баланс процесса получения стекла.

2. Составить материальный баланс процесса получения силикат-глыбы, если для этого использовали 500 кг поташа с влажностью 2%, который содержит 98% основного вещества, и 550 кг кварцевого песка с влажностью 5% и содержанием  $\text{SiO}_2$  92%. Составом примесей пренебречь.

3. Для получения 1 т стекла расходуется 650 кг песка, 185 кг кальцинированной соды, 109 кг сульфата натрия, 68 кг известняка, 165 кг доломита, 103 кг пигмента и 15 кг угля. Составить материальный баланс получения стекла на суточную производительность ванной печи, которая равна 200 т. Какой объем занимает шихта, если насыпная плотность,  $\text{кг/м}^3$ : песка – 1800; соды – 900; сульфата натрия – 1000; известняка – 1700; доломита – 1650; магнезита – 1800; угля – 400.

4. Для получения силикат-глыбы использовали состав, содержащий 62% кварцевого песка, 38% кальцинированной соды. Песок содержит 96%  $\text{SiO}_2$ , остальное – примеси, а сода – 98%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , остальное – примеси. При варке улетучивается 4%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Влажность шихты – 4,5%. Технологические потери при подготовке шихты составляют 0,5% от массы каждого компонента. Определить силикатный модуль и составить материальный баланс получения силикат-глыбы.

5. Составить материальный баланс варки стекол с использованием чистых сырьевых материалов. Состав шихты, мас. %: кварцевый песок – 68; борная кислота – 3,8; глинозем технический – 4,0; магнезит – 1,5; карбонат кальция – 14,1; кальцинированная сода – 4,9; поташ – 3,7. Учесть, что при варке улетучивается 8%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 7%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Расчет проводится на 100 кг шихты. Определить химический состав стекла.

6. Рассчитать массу силикат-глыбы с  $n = 2,5$ , которую можно получить при использовании кварцевого песка, содержащего 96,5%  $\text{SiO}_2$ , остальное – примеси, и имеющего влажность 5%. Технологические потери при подготовке шихты – 0,4% от массы кальцинированной соды и 0,7% от массы песка. При варке улетучивается 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Сода содержит 99,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , остальное – примеси. Влажность сырьевой шихты – 4,5%. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы.

7. Для получения свинцового хрусталя заданного состава необходимо ввести в шихту следующие сырьевые материалы, мас. %: песок кварцевый – 58,4; сурик свинцовый – 26,3; цинковые белила – 1,0; борная кислота – 2,1; сода кальцинированная – 3,5; калиевая селитра – 14,6; поташ – 14,6. Содержание основного вещества в исходных сырьевых материалах, мас. %: свинцовый сурик ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) – 98,5; песок кварцевый ( $\text{SiO}_2$ ) – 99,5; цинковые белила ( $\text{ZnO}$ ) – 99,8; борная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) – 99,9; сода кальцинированная ( $\text{NaCO}_3$ ) – 99,5; поташ ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) – 99,8; селитра калиевая – 99,5. Определить химический состав свинцового хрусталя и составить материальный баланс его получения.

8. Для получения  $1 \text{ м}^3$  жидкого стекла используется 580 кг силикат-глыбы с истинной плотностью  $2,40 \text{ г/см}^3$ . В составе силикат-глыбы находится 2,4% нерастворимых примесей. Определить плотность и концентрацию раствора. Составить материальный баланс получения жидкого стекла.

9. Рассчитать расход кальцинированной соды и кварцевого песка для получения силикат-глыбы с  $n = 2,8$ . Сода содержит 99,0%  $\text{NaCO}_3$ , остальное – примеси, а песок – 98,0%  $\text{SiO}_2$ , остальное – примеси. Технологические потери при подготовке шихты составляют 0,6%. Песок имеет влажность 3,5%, а сырьевая шихта – 4,5%. Потери при стеклообразовании – 16,8% от массы сухой шихты. Определить, сколько  $\text{Na}_2\text{O}$ , %, улетучивается при варке. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы.

10. Составить материальный баланс процесса получения керамического кирпича. Шихтовый состав массы, мас. %: глина легкоплавкая – 79; шамот – 6; кварцевый песок – 15. Карьерная влажность глины составляет 18%. Влажность кварцевого песка – 6%. Формовочная влажность керамической массы – 20%. Сухая легкоплавкая глина

содержит 26% каолинита, 12% монтмориллонита ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Средняя плотность кирпича составляет  $1750 \text{ кг/м}^3$ .

11. Определить влажность кирпича-сырца, если для получения 1000 шт. условного кирпича израсходовалось 5400 кг глины. Потери при прокаливании глины составляют 18%. Технологические потери исходного керамического кирпича –  $1800 \text{ кг/м}^3$ . Составить материальный баланс.

12. Определить, сколько штук кирпича-сырца с влажностью 18% и средней плотностью  $1750 \text{ кг/м}^3$  получится при использовании  $150 \text{ м}^3$  глины с насыпной плотностью  $1450 \text{ кг/м}^3$  и влажностью 8%. Составить материальный баланс получения керамического кирпича.

13. Определить, сколько штук керамического кирпича получится, если для его изготовления использовали 80 т сырой глины, которая имеет карьерную влажность 14%, ППП – 8% от массы сухого материала, и 11 т кварцевого песка с карьерной влажностью 6%. Средняя плотность полученного кирпича –  $1700 \text{ кг/м}^3$ . Составить материальный баланс получения керамического кирпича.

14. Составить материальный баланс получения фарфоровых изделий. Состав фарфоровой массы на сухое вещество, мас. %: глина – 15; каолин – 35; кварц – 23; полевого шпат – 27. Исходные материалы имеют влажность, мас. %: глина – 20; каолин – 5; кварц – 1; полевого шпат – 2. ППП фарфоровой массы составляют 9%. Требуется рассчитать потребное количество материалов и воды для получения 1500 кг массы с влажностью 21%.

15. Определить количество фарфоровых изделий, которые могут быть получены из 1000 кг клинкера влажностью 48%, если для его получения использовали (в пересчете на сухое вещество), кг: глины – 78; каолина – 182; кварца – 120; полевого шпата – 140. Исходные материалы имели такие же влажность и ППП, как в предыдущей задаче. Масса одного фарфорового изделия составляет 0,8 кг. Технологические потери клинкера – 2%. Составить материальный баланс процесса получения изделий.

16. Составить материальный баланс производства 1000 шт. керамического кирпича со средней плотностью  $1700 \text{ кг/м}^3$ . Формовочная масса (в пересчете на сухое вещество), мас. %: глина – 75; кварцевый песок – 14%; бой кирпича – 11. Формовочная масса имеет влажность 20%. Карьерная влажность глины – 22%, а ее ППП – 9,5%. Влажность кварцевого песка – 5%.

17. Составить материальный баланс получения нефритованной глазури. Глазурь имеет следующий шихтовый состав, мас. %: полевой шпат – 26 ( $W = 2,3\%$ ); кварц – 32 ( $W = 0,2\%$ ); глина – 10 ( $W = 8,5\%$ ); мел – 19 ( $W = 0,8\%$ ); оксид цинка – 2 ( $W = 0,3\%$ ); циркон – 11 ( $W = 0,2\%$ ). Химический состав исходных сырьевых материалов представлен в табл. 4.8.

Таблица 4.8

**Химический состав сырьевых материалов**

Химический состав	Полевой шпат	Глина	Кварц	Мел	Оксид цинка	Циркон обогащенный
SiO <sub>2</sub>	65,4	49,82	98,2	1,0	–	38,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,4	35,74	0,28	0,24	–	5,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	1,06	0,72	–	–	–
CaO	0,8	0,65	0,25	54,66	–	0,4
MgO	0,18	0,60	0,35	0,56	–	0,3
Na <sub>2</sub> O	3,5	0,82	–	–	–	–
K <sub>2</sub> O	9,38	0,95	–	–	–	–
ZnO	–	–	–	–	100	–
ZrO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	55,12
ППП	0,11	10,36	0,2	43,54	–	–

Влажность шликера нефритованной глазури составляет 52%.

18. Составить материальный баланс процесса получения портландцементного клинкера. Компоненты сырьевой смеси и их характеристики: мел ( $W = 28,5\%$ ; ППП – 40,8%); мергель ( $W = 29,0\%$ ; ППП – 26,5%); пиритные огарки ( $W = 18,3\%$ ; ППП – 1,2%). Расчетный состав сырьевой смеси, мас. %: мел – 63,4; мергель – 35,1; пиритные огарки – 1,5. Способ приготовления сырьевой смеси – сухой. Безвозвратные технологические потери на переделах приготовления сырьевой муки: мел – 3%; мергель – 3%; пиритные огарки – 1%. Безвозвратные технологические потери сырья на переделе обжига клинкера – 1%.

19. Составить материальный баланс процесса получения портландцементного клинкера по мокрому способу. Расчетный состав сырьевой смеси, мас. %: мел – 78; глина легкоплавкая – 20; пиритные огарки – 2. Химический состав исходных компонентов представлен в табл. 4.9.

Таблица 4.9

**Химический состав сырьевых материалов**

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
Мел	1,38	0,22	0,20	55,13	0,20	0,23	42,60
Глина легкоплавкая	47,45	12,87	7,05	9,80	3,54	0,25	15,33
Пиритные огарки	12,21	2,92	76,29	1,36	0,50	2,33	–

Влажность сырьевого шлама – 40%. Влажность исходных материалов, мас. %: мел – 28; глина – 24; пиритные огарки – 19.

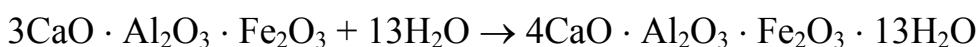
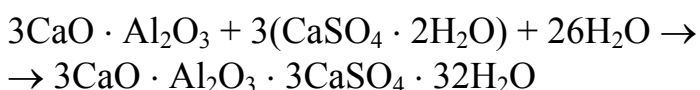
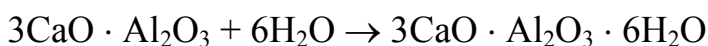
20. Рассчитать выход портландцементного клинкера из 1 м<sup>3</sup> сырьевого шлама с плотностью 1700 кг/м<sup>3</sup> и влажностью 38%. Потери при прокаливании сухой части шлама – 35,8%, безвозвратный пылеунос – 1,5% от массы клинкера. Составить материальные балансы процессов обжига клинкера и помола цемента, содержащего 5% природного гипса и 20% минеральной добавки. Потери при помоле составляют 0,7%.

21. Рассчитать влажность сырьевого шлама, если для получения 1 т портландцементного клинкера используется 1,6 м<sup>3</sup> сырьевого шлама с плотностью 1,68 г/см<sup>3</sup>. Потери при прокаливании сухой части шлама – 36,1%, пылеунос – 2% от массы сухого сырья и 1,5% от массы портландцементного клинкера. Составить материальный баланс процесса обжига клинкера.

22. Составить материальный баланс процесса обжига портландцементного клинкера по мокрому способу. Влажность сырьевого шлама – 40%. Расчетный состав сырьевой смеси, мас. %: мел – 76,5; глина – 19,5; пиритные огарки – 4,0. Мел содержит 95% CaCO<sub>3</sub>, 3% свободного SiO<sub>2</sub>, 2% MgCO<sub>3</sub>; глина – 30% свободного SiO<sub>2</sub>; 27% SiO<sub>2</sub> в составе каолинита, 9% CaCO<sub>3</sub>, 5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе лимонита (2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O), остальное – неразлагающиеся примеси; пиритные огарки содержат 74% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6% SiO<sub>2</sub>, 3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% CaO, 11% SO<sub>3</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси. Пылеунос при обжиге составляет 3% от массы сухого сырья. Рассчитать коэффициент насыщения, глиноземный и силикатный модули.

23. Составить материальный баланс процесса гидратации портландцемента с активными минеральными добавками. Цемент содержит 76,5% портландцементного клинкера, 20% трепела и 3,5% при-

родного гипса. В состав клинкера входит 60%  $C_3S$ , 17%  $C_2S$ , 5%  $C_3A$ , 15%  $C_4AF$ , 69% аморфного  $SiO_2$ , остальное – примеси. В составе природного гипсового камня содержится 92% основного вещества. При взаимодействии  $SiO_2$  с  $Ca(OH)_2$  образуется  $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ . Реакции гидратации протекают по следующим уравнениям:



Водоцементное отношение составляет 0,30. В процессе твердения испаряется 60% избыточной влаги. Степень гидратации алита – 0,90; белита – 0,38;  $C_3A$  – 0,98;  $C_4AF$  – 0,60.

24. Составить материальный баланс барабанного дегидрататора производительностью 10 т в сутки по сырью. Сырье – гипсовый камень состава:  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  – 85%, неразлагающиеся примеси – 5%; влажность – 10%. Пылеобразование – 1,5% от массы готового продукта. Степень дегидратации дигидрата сульфата кальция – 0,9.

25. Потеря массы при полной дегидратации сухого гипсового щебня – 19%. Определить степень дегидратации  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  при варке строительного гипса. Природный гипсовый камень содержит 90%  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . При получении гипса потеря массы составила 13,5% от массы сухого материала. Принять, что  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  дегидратируется при варке до  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ . Влажность гипсового щебня – 5%. Составить материальный баланс процессов сушки и дегидратации.

26. Сухой природный гипсовый камень содержит 89%  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , 6%  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ , 2%  $SiO_2$ , остальное – неразлагающиеся примеси. При получении эстрих-гипса потеря массы сухого щебня – 24,7%. Определить степень разложения  $CaSO_4$  и содержание  $CaO$  в продукте, если карбонаты разлагаются полностью. Влажность гипсового щебня – 6%. Составить материальный баланс процесса обжига. Пылеунос – 1,5% от массы эстрих-гипса и 1% массы сухого сырья.

27. Определить расход природного гипсового камня с влажностью 7% для получения 1 т строительного гипса. Состав сухого гипсового

камня: 91%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 3%  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , 2%  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , остальное – неразлающиеся примеси. Степень дегидратации до  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  – 0,94; до  $\text{CaSO}_4$  – 0,04. Определить состав строительного гипса после вылеживания в бункере томления, если ангидрит в нем отсутствовал. Составить материальный баланс процессов дегидратации и томления.

28. Составить материальный баланс процесса получения гипсовых изделий. Определить расход строительного гипса и воды на получение 1 т гипсовых изделий с остаточной влажностью после сушки 3%. Водогипсовое отношение составляет 0,60. Строительный гипс содержит 83%  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , 1,5%  $\text{CaSO}_4$ , 2%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , остальное – негидратирующиеся примеси.

29. Влажность гипсовых изделий после завершения процесса гидратации – 31,5%, после сушки – 2,5%. Сухое гипсовое изделие содержит 93,5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , остальное – негидратирующиеся примеси. В строительном гипсе содержится 2,5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а ангидрит отсутствует. Составить материальный баланс процесса получения гипсовых изделий.

30. Расход строительного гипса на 1 м<sup>3</sup> гипсовых изделий с плотностью в сухом состоянии 1300 кг/м<sup>3</sup> составляет 1100 кг, расход воды – 580 л. Определить пористость и плотность изделий с влажностью после сушки 4%, а также истинную плотность строительного гипса и гипсового изделия. Составить материальный баланс процесса получения гипсовых изделий, учитывая, что в составе вяжущего находятся только  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  и негидратирующиеся примеси.

31. Составить материальный баланс вращающейся известково-обжиговой печи, работающей по мокрому способу производства. Производительность печи – 10 т/ч. Химический состав сырья, мас. %:  $\text{CaCO}_3$  – 92,5;  $\text{MgCO}_3$  – 2,0;  $\text{SiO}_2$  – 1,5;  $\text{R}_2\text{O}_3$  – 4,0, остальное – ППП. Активность получаемой извести – 80%. Шлам имеет влажность 38%. Безвозвратный пылеунос составляет 5%.

32. Составить материальный баланс получения извести по мокрому способу. Карьерная влажность мела – 24%; влажность мелового шлама – 40%. Состав сухого мела:  $\text{CaCO}_3$  – 93,5;  $\text{MgCO}_3$  – 2,1; остальное – неразлагающиеся примеси. Степень декарбонизации  $\text{CaCO}_3$  – 0,91. Пылеунос – 4% от массы сухого мела и 3% от массы извести. Определить активность получаемой извести.



33. Составить материальный баланс получения извести по полусухому способу из мела с карьерной влажностью 21%. Известь содержит 82% CaO, 0,5% MgO, 5% CO<sub>2</sub> (в составе неразложившегося CaCO<sub>3</sub>) остальное – примеси. Рассчитать степень декарбонизации CaCO<sub>3</sub>. Пылеунос – 3% от массы извести и 4% от массы сухого мела.

34. Составить материальный баланс получения магнезиального вяжущего обжигом доломита по сухому способу. Карьерная влажность доломита – 8%. Состав сухого доломита: 89% CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub>, 6% CaCO<sub>3</sub>, остальное – неразлагающиеся примеси. Степень декарбонизации CaCO<sub>3</sub> – 0,05, MgCO<sub>3</sub> – 0,98. Определить состав полученного вяжущего. Пылеунос – 1,5% от массы вяжущего и 0,5% от массы сухого доломита.

35. Потеря массы при полной декарбонизации сухого известняка – 42,8, при частичной декарбонизации в конвейерном кальцинаторе – 8%, а потеря массы при полной декарбонизации полученной извести – 4,8%. Рассчитать степень декарбонизации CaCO<sub>3</sub> во вращающейся печи и общую. Определить состав полученной извести. Составить материальный баланс процесса обжига во вращающейся печи. Содержанием в сырье MgCO<sub>3</sub> пренебречь. Пылеунос – 3% от массы извести и 2% от массы частично декарбонизированного известняка, поступающего в печь.

36. Рассчитать, сколько извести-пушонки с влажностью 2% получается при гашении 1000 кг строительной извести состава: 85% CaO, 3% MgO (активных), остальное – примеси. Учесть, что при гашении испаряется 60% воды от массы, необходимой на химическую реакцию. Составить материальный баланс процесса гашения.

37. Определить массу воды, необходимую для получения 1000 кг известкового теста с влажностью 30%. Состав негашеной извести: 78% CaO, 3% MgO (активных), остальное – примеси. Учесть, что при гашении испаряется 18% от всей массы воды. Составить материальный баланс процесса гашения.

38. Рассчитать, сколько штук полуторного силикатного кирпича с плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup> и влажностью 5,0% можно получить при использовании 1 т силикатной смеси с активностью 9%. Активность извести – 70%, известково-песчаного вяжущего – 36%. Содержание кристаллогидратной воды в сухом кирпиче – 2%. Карьерная влажность песка – 5%. Технологические потери составляют 2,0% от массы каждого компонента. Составить материальный баланс получения 1000 шт. условного кирпича.

39. Рассчитать возможное увеличение выпуска силикатного кирпича, %, при переходе с извести с активностью 71% на известь с активностью 82%. Плотность силикатного кирпича –  $1750 \text{ кг/м}^3$ , влажность – 5%. Активность негашеной силикатной смеси – 8,5%, активность известково-песчаного вяжущего – 38%. Содержание кристаллогидратной воды в сухом кирпиче – 2,9%. Карьерная влажность песка – 5%, технологические потери – 1,5% от массы каждого компонента. Составить материальный баланс получения 1000 шт. кирпича при использовании извести с активностью 82%.

40. Рассчитать, сколько штук полуторного силикатного кирпича с плотностью  $1600 \text{ кг/м}^3$  можно получить при использовании 1 т известково-песчаного вяжущего с активностью 38%. Активность извести – 78%, сухой силикатной смеси – 9,0%, известково-песчаного вяжущего – 38,4%. Влажность полученного кирпича – 6,5%. Карьерная влажность песка – 3%. Технологические потери – 1,5% от массы каждого компонента. Составить материальный баланс получения 1000 шт. кирпича.

41. При получении известково-песчаного вяжущего соотношение между сухим песком и известью с активностью 70% составляет 1 : 1. Карьерная влажность песка – 7%. Определить степень загашенности СаО в вяжущем, если при помоле и частичном гашении испаряется 15% воды. Рассчитать соотношение между вяжущим и песком-заполнителем для получения силикатной смеси с активностью 8%. Определить степень загашенности СаО в смеси до силоса-реактора, если потеря массы сухой силикатной смеси при термообработке при  $t = 550^\circ\text{C}$  составляет 2,2%. Содержанием в извести MgO пренебречь. Составить материальный баланс получения 1000 шт. полуторного пустотелого кирпича с плотностью  $1850 \text{ кг/м}^3$  и влажностью 5%. Учесть, что при автоклавировании образуется  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Технологические потери – 2% от массы каждого компонента.

42. Рассчитать экономию сырья при выпуске пустотелого полуторного силикатного кирпича с плотностью  $1550 \text{ кг/м}^3$  вместо одинарного с объемной массой  $1900 \text{ кг/м}^3$ . Активность извести – 73%, негашеной силикатной смеси – 8%, известково-песчаного вяжущего – 38%. Содержание кристаллогидратной влаги в сухом кирпиче – 2,7%. Влажность кирпича – 5%, карьерная влажность песка – 7%. Технологические потери – 1,8% от массы каждого компонента. Составить материальный баланс получения 1000 шт. полуторного кирпича.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>1. Расчеты состава и свойств сырьевых материалов .....</b>	<b>4</b>
1.1. Приведение химического состава к стопроцентному .....	4
1.2. Пересчет химического состава материала на прокаленное вещество .....	6
1.3. Пересчет химического состава влажного материала на су- хое вещество .....	8
1.4. Пересчет химического состава на влажное вещество .....	11
1.5. Пересчет материала с одной влажности на другую .....	12
<i>Задачи для самостоятельного решения .....</i>	<i>15</i>
<b>2. Расчет состава сырьевых смесей для получения тугоплавких неметаллических и силикатных материалов и изделий .....</b>	<b>21</b>
2.1. Расчет сырьевой смеси для получения вяжущих веществ .....	21
2.2. Расчет двухкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента .....	23
2.3. Расчет трехкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцемента .....	25
2.4. Расчет четырехкомпонентной сырьевой смеси для получе- ния портландцемента .....	29
2.5. Расчет рационального состава сырьевых материалов и масс .....	31
2.6. Определение шихтового состава керамической массы по химическому составу черепка и сырьевых материалов .....	34
2.7. Расчет брутто-состава глазури по составу шихты .....	36
2.8. Расчет состава сырьевых шихт для получения стекла .....	41
2.9. Расчет минералогического состава клинкера .....	47
2.10. Расчет состава бетона на плотных заполнителях .....	50
2.11. Расчет состава ячеистого бетона .....	53
<i>Задачи для самостоятельного решения .....</i>	<i>58</i>
<b>3. Расчет норм расхода сырьевых материалов для получе- ния тугоплавких неметаллических и силикатных материа- лов и изделий .....</b>	<b>69</b>

3.1. Нормирование расхода сырьевых материалов в производстве тугоплавких неметаллических и силикатных материалов	69
3.2. Определение норм расхода сырья в производстве керамического кирпича .....	70
3.3. Расчет норм расхода сырьевых материалов в производстве цемента .....	75
3.4. Расчет норм расхода сырьевых материалов в производстве силикатного кирпича и извести .....	78
<i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....	80
<b>4. Принципы составления материальных балансов и материальные расчеты в технологии силикатных материалов</b> .....	86
<i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....	98

Учебное издание

**Сакович** Андрей Андреевич

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *И. О. Гордейчик*

Верстка *И. О. Гордейчик*

Подписано в печать 30.05.2008. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 6,4. Уч.-изд. л. 6,5.  
Тираж 150 экз. Заказ

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.

**А. А. Сакович**

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-48 01 01  
«Химическая технология неорганических веществ,  
материалов и изделий»**

Минск БГТУ 2008